

# DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

JUILLET-AOUT 1953

Sixième année, n° 67-68.

## SOMMAIRE

<b>Le pont de Villeneuve-Saint-Georges . . . . .</b>	625
H. LOSSIER, Conception de l'ouvrage et problèmes posés par sa réalisation.	
M. BONNET, Les enseignements tirés du chantier en matière de contrôle de la qualité des matériaux.	
L. THOMAS, Étude de certains problèmes de chantier.	
Série : Travaux publics (XXII).	
J. DELARUE et F. DERVIEUX, <b>Quelques aspects de la recherche sur les matériaux et les constructions aux États-Unis (I). La Mécanique des Sols. . . . .</b>	643
Série : Essais et mesures (XXV).	
J. ARCHAMBAULT, <b>Quelques aspects de la prospection et de l'exploitation des eaux souterraines . . . . .</b>	657
Série : Questions générales (XXI).	
Ch. BONVALET et A. CAKIROGLU, <b>Études sur modèles réduits de planchers-dalles . . . . .</b>	673
Série : Essais et mesures (XXVI).	
J. BARETS, <b>Construction d'un bow string associant le béton précontraint et le béton armé . . . . .</b>	697
Série : Travaux publics (XXIII).	
<hr/>	
JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR 1953	
<b>Recherches et techniques étrangères . . . . .</b>	705
J. RYDBERG, A. WATZINGER, S. P. JACOBSEN et J. KAMM, Évolution des recherches et des techniques en Suède, en Norvège, au Danemark et en Suisse depuis 1940.	
Série : Équipement technique (XXXVI).	
<hr/>	
<b>Documentation Technique réunie en avril 1953 . . . . .</b>	749
Documentation technique (LXVI).	

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES  
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE  
28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS (VII<sup>e</sup>)

LABORATOIRES DU BATIMENT  
ET DES TRAVAUX PUBLICS  
12, RUE BRANCION, PARIS (XV<sup>e</sup>)

BUREAU SECURITAS  
9, AVENUE VICTORIA, PARIS (IV<sup>e</sup>)

CENTRE D'INFORMATION ET DE  
DOCUMENTATION DU BATIMENT  
100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI<sup>e</sup>)

# *Une des principales missions de L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS*

consiste à mettre à la disposition de toute personne intéressée par les problèmes de la construction, une vaste documentation fournie par :

## *Le service de documentation de l'Institut Technique*

qui dépouille plus de 400 périodiques techniques dont plus de la moitié viennent de l'étranger;

*Les Laboratoires du Bâtiment  
et des Travaux Publics;*

*Des techniciens français et étrangers  
de la profession.*

Soit au cours de conférences ou de visites de chantier organisées par le *Centre d'Études Supérieures*.

Soit dans des exposés traitant de questions ou de réalisations diverses.

A cet effet, l'**Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics** dirige la rédaction ou rédige :

1<sup>o</sup> Des ouvrages divers parmi lesquels il faut citer : les Règles d'utilisation de certains matériaux (béton armé, acier, etc.), des Règles ayant trait à des problèmes particuliers (par exemple : les effets de la neige et du vent sur les constructions). L'application de certaines de ces règles a été rendue obligatoire par le **MINISTÈRE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME** pour les travaux relevant de son autorité.

(La liste des publications et les conditions d'envoi sont adressées sur demande formulée à la *Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, 28, boulevard Raspail, Paris-VII<sup>e</sup>.)

## **2<sup>o</sup> Les ANNALES qui publient :**

Les conférences et comptes rendus de visites de chantiers organisées par le *Centre d'Études Supérieures*;

Des études originales françaises et étrangères;

Les Manuels du béton armé, de la charpente en bois et de la construction métallique;

Les comptes rendus de recherches d'intérêt général poursuivies par les **Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics** ;

Une documentation technique.

Chaque sujet est classé dans les séries suivantes :

Architecture et Urbanisme.

Technique générale de la construction.

Théories et Méthodes de calcul.  
(*Résistance des matériaux.*)

Essais et Mesures.

Sols et fondations.

Gros œuvre.

(*Maçonnerie, travail du bois.*)

Construction métallique.

Travaux Publics.

Matériaux.

(*Pierres et Minéraux. Géologie.*)

Liants hydrauliques.

Béton. Béton armé.

Béton précontraint.

Équipement technique.

(*Électricité, chauffage et ventilation,  
froid, acoustique, plomberie, couverture,  
étanchéité.*)

Aménagement intérieur.

Matériel de chantier.

Questions générales.

(*Questions économiques, hygiène, sécurité.*)

Documentation technique.

Manuel du Béton armé.

Manuel de la Charpente en bois.

Manuel de la Construction Métallique.

## **EMBOITAGE POUR LES ANNALES**

Pour permettre à nos abonnés de conserver facilement en bibliothèque avant reliure les numéros des « Annales », nous mettons à leur disposition un emboitage avec jaquette, pouvant contenir une année complète des « Annales ».

Au prix de .....	700 F
Plus frais d'expédition :	
France et Union Française.....	110 F
Étranger .....	190 F

Les demandes, accompagnées de leur montant, doivent être adressées à **La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**, 28, boulevard Raspail, Paris-VII<sup>e</sup>, C. C. P. Paris 8524-12. Elles seront satisfaites dans le délai maximum d'un mois.

# ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

RÉSUMÉS (JUILLET-AOUT 1953)

SUMMARIES (JULY-AUGUST 1953)

Fif maj' fid ja

## Ponts routes.

**Pont de Villeneuve-Saint-Georges.** LOSSIER (H.), BONNET (M.) et THOMAS (M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-aout 1953), n° 67-68 [Travaux publics (XXII)], 18 p., 26 fig.

Le pont de Villeneuve-Saint-Georges, du type cantilever, est à trois travées dont la centrale comporte une poutre indépendante. Le tablier réalisé en poutre caisson à trois compartiments est en béton postcontraint dans le sens longitudinal. La chaussée est encadrée par deux trottoirs en encorbellement. Le tablier repose par des articulations en béton fretté sur les piles rehaussées de l'ancien pont et par des pendules en béton fretté sur les culées. La contrainte, réglable en tout temps à l'intérieur de l'ouvrage est réalisée par des câbles de ponts suspendus passant sur des balanciers articulés. La composition et le contrôle du béton ont fait l'objet de nombreux essais dont les résultats sont commentés. La construction, qui exigeait le maintien d'une passe navigable, a vu le bétonnage successif de deux consoles culasses sur cintre, puis de la travée indépendante sur cintre suspendu.

CDU 625.74.

Cib m

## Mécanique des sols.

**Quelques aspects de la recherche sur les matériaux et les constructions aux États-Unis. (I).** Mécanique des sols. DELARUE (J.) et DERVIEUX (F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-aout 1953), n° 67-68 [Essais et mesures (XXV)], 14 p., 3 fig.

Les recherches américaines sur la mécanique du sol apparaissent marquées par le souci de faciliter des applications rapides, quasi automatiques et systématiques. Les propriétés et caractéristiques physiques et chimiques des sols sont étudiées par des méthodes telles que celle de BURMISTER. Les propriétés des sols argileux ont fait l'objet des travaux de WINTERKORN et de TERZAGHI. La stabilisation des sols, très étudiée, a conduit à l'emploi de résines artificielles à l'aniline-furfural, d'acrylate de calcium. La portance des sols est contrôlée par des appareils nouveaux. La consolidation physique des sols est réalisée par l'électro-osmose et par la thermo-osmose. L'étude du cisaillement est faite d'une manière assez particulière. On étudie aussi de près le phénomène du « pumping ».

CDU 624.131.

Fif maj' fid ja

## Road bridges.

**The Villeneuve-Saint-Georges bridge.** LOSSIER (H.), BONNET (M.) and THOMAS (M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Publics works (XXII)], 18 p., 26 fig.

The cantilever bridge at Villeneuve-Saint-Georges comprises three spans, the central span of which includes a suspended girder. The deck, consisting of a box girder in three longitudinal cells, is made of longitudinally post-stressed concrete. The roadway is flanked with two cantilevered sidewalks. The deck rests on hinges of hooped concrete placed on top of the raised piers of the old bridge and on rockers of hooped concrete placed on top of the abutments. The internal stresses can be adjusted at all times through cables of suspension-bridge type stretched over hinged rockers. The proportions and properties of the concrete mix have been controlled with the aid of numerous tests, the results of which are commented upon. The construction had to be carried out so as to leave a navigable channel free at all times. Therefore, the concreting of the anchor and cantilever arms was done on falsework and the suspended beam was subsequently concreted on a hung centering.

UDC 625.74.

Cib m

## Soil mechanics.

**Some aspects of research on materials and structures in the United States. (I).** Soil mechanics. DELARUE (J.) and DERVIEUX (F.); *Ann. I. T. B. T. P.* (July-August 1953), n° 67-68 [Tests and measurements (XXV)], 14 p., 3 fig.

The American research in the field of soil mechanics seems to be marked by the endeavour to facilitate rapid, quasi-automatic and systematic application. The physical and chemical characteristics and properties are investigated by methods such as BURMISTER'S. The properties of clayey soils have been investigated by WINTERKORN and TERZAGHI. Soil stabilization has been thoroughly investigated and the use of synthetic resins, such as aniline-furfural and calcium acrylate, has been introduced. The bearing capacity of soils is controlled by new instruments. The physical consolidation of soils is effected by electro-osmosis and thermo-osmosis. The investigation of shear is conducted in a rather special manner. The phenomenon of " pumping " is also being closely investigated.

UDC 624.131.

Fed laj

**Alimentation en eau.**

**Quelques aspects de la prospection et de l'exploitation des eaux.** ARCHAMBAULT (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Questions générales (XXI)], 16 p., 17 fig.

L'importance croissante sur le plan économique et humain des problèmes d'alimentation en eau et le déficit déjà perceptible, un peu partout dans le monde, des ressources en eau, font souhaiter que les divers milieux intéressés à ces questions soient exactement informés des méthodes les plus rentables d'étude et d'exploitation des eaux souterraines. L'auteur de la conférence passe en revue ceux de ces procédés qui méritent d'être mieux connus et plus souvent employés.

La prospection géophysique, sans déceler l'eau en tant que telle, rend les plus grands services pour la recherche de l'eau. Il en est de même de l'établissement des cartes phréatiques, employées en France dès avant 1882, mais un peu oubliées, bien que leurs applications soient multiples. L'auteur en cite des exemples, relatifs à la nappe alluviale de l'Huveaune près de Marseille, à celle de la Durance, et à des plaines de Tunisie.

Les sondages de reconnaissance sont de plus en plus souvent exécutés au rotary, l'identification des terrains étant réservée au carottage électrique (méthode Schlumberger).

Quant à l'exploitation des nappes, il y a lieu de souligner l'importance des débits obtenus par « sondages développés », consistant en la mise en place progressive d'un important massif de gravier. Dans d'autres cas, c'est la méthode de captage horizontal dite des « Puits Ranney » qui donne les meilleurs résultats.

CDU 628.11.

Fac lij' caf mel s    **Planchers. Essais.**

**Études sur modèles réduits de planchers dalles.** BONVALET (Ch.) et CAKIROGLU (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Essais et mesures (XXVI)], 24 p., 38 fig.

Afin d'étudier expérimentalement les lois de répartition des contraintes dans les planchers dalles, nous avons réalisé deux modèles réduits.

Le premier est constitué par une plaque appuyée sur trois rangées de six poteaux non encastrés, et le second par une plaque reposant sur des appuis simples continus en bordure et une rangée médiane de six poteaux non encastrés.

Ces essais, qui viennent à la suite de la publication par M. R. L'HERMITE d'une étude sur les plaques fléchies permettant l'application d'une méthode de calcul des planchers-dalles, ont mis en évidence une concordance très satisfaisante entre les valeurs calculées et mesurées des moments fléchissants et des réactions, sous l'action de surcharges uniformément réparties.

Des mesures ont été effectuées permettant d'évaluer avec précision la valeur des moments fléchissants à la périphérie des poteaux, moments qui conditionneront les dimensions principales, et par conséquent, le coût de l'ouvrage.

Il a été possible également d'estimer l'importance de l'affaissement éventuel d'un pilier et de mesurer l'ordre de grandeur des perturbations qu'un tel incident peut entraîner.

D'autre part, ces essais ont donné l'occasion d'appliquer des techniques expérimentales dont le principe est connu, mais dont l'emploi nécessite certaine mise au point; nous pensons en particulier à la détermination des réactions d'appuis.

Enfin, ils ont permis l'usage de vernis craquelants dont l'utilisation pour l'analyse des contraintes est particulièrement fructueuse.

CDU 690.25 : 620.015.7.

Fed laj

**Feed of water.**

**Some aspects of water exploration and its use.** ARCHAMBAULT (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [General information (XXI)], 16 p., 17 fig.

The increasing importance, in its economic and social aspects, of water supply and the already perceptible deficiency of water resources nearly everywhere throughout the world, make it desirable that the different bodies interested in this problem be thoroughly informed as to the most efficient methods of investigating and using ground water.

Geophysical prospection, although it does not detect water as such, is of great service in the search for water. The same is true of phreatic maps, used in France since 1882, but somewhat forgotten since that time, although their application are manifold. The author gives some examples such as the alluvial water tables of the Huveaune near Marseille, that of the Durance and those of the Tunisian plains.

The exploration borings are ever more performed through rotary drilling, the soil identification being done by electric core extraction (Schlumberger method).

As to the tapping of the water layers it is not amiss to stress the quantity of flow obtained by "developed borings" consisting of progressive placing of a large gravel mass. In other cases, the method of horizontal water collection, called "Ranney Wells" method, is what gives the best results.

UDC 628.11.

Fac lij' caf mel s    **Floors. Tests.**

**Investigations on flat slabs by means of scale models.** BONVALET (Ch.) and CAKIROGLU (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Testing and measurements (XXVI)], 24 p., 38 fig.

In order to investigate experimentally the laws of stress distribution in flat slabs, two scale models were made.

The first is composed of a plate supported by three rows of six non-fixed-end-columns, and the second of a plate resting on simple supports around its periphery and on a middle row of six non-fixed-end-columns.

These tests followed the publication by Mr R. L'HERMITE of an investigation on plates in flexure, developing a method of flat-slab analysis. They show a highly satisfactory concordance between the calculated and the measured values of bending moments and reactions under the action of uniformly distributed loads.

Certain measurements permitting the accurate evaluation of the value of bending moments at the periphery of the columns were made. These moments will control the basic dimensions and therefore the cost of the structure.

It was also possible to estimate the extent of the possible settlement of a column and to measure the order of magnitude of the perturbations which such an eventuality could entail.

Furthermore, these tests have been the occasion of applying experimental techniques, the principle of which is known, but the use of which requires a further development. In particular, we are referring to the determination of reactions at the supports.

Finally, the tests entailed the use of crackling lacquers, the use of which gives particularly fruitful results for stress analysis.

UDC 690.25 : 620.015.7.

## Fif m'deb ni **Ponts en béton précontraint.**

**Construction d'un bow string associant le béton précontraint et le béton armé.** BARETS (J.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Travaux publics (XXIII)], 8 p., 12 fig.

La description d'un bow string de 74 m de portée et de 21,70 m de largeur comportant des tirants et suspentes en béton précontraint montre l'intérêt de la précontrainte pour la suppression des contraintes de traction dans ces pièces. Les câbles de grande longueur suppriment tous les problèmes de recroisement ou de soudure.

Les moments parasites de la précontrainte diminuent le moment dû au terme correctif de Bresse. L'arc devient plus économique.

L'auteur étudie en détail les problèmes posés par le chantier.  
CDU 624.27 : 693.57.

## Fif m'deb ni **Prestressed concrete bridges.**

**Building of a bow string bridge of mixed reinforced and prestressed concrete construction.** BARETS (J.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Public works (XXIII)], 8 p., 12 fig.

The description of a bow string bridge of 74 meter span and 21,70 meter width, including prestressed concrete ties and hangers, shows the usefulness of prestressing for eliminating tensile stresses in these members. The very long cables eliminate all the problems of stiffening or welding.

The parasitic prestressing moments diminish the moment due to the Bresse correction factor. The arch becomes more economical.

The author investigates the field problems in detail.  
UDC 624.27 : 693.57.

## JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR

11 - 12 - 13 mai 1953

### Dic l' cof 1      **Congrès du Chauffage.**

**Évolution des recherches et des techniques en Suède depuis 1940.** RYDBERG (J.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Équipement technique (XXXVI)], 5 p., 6 fig.

Après un aperçu général des installations de chauffage actuellement utilisées, le conférencier donne la description plus détaillée d'une nouvelle chaudière, qui travaille avec de grandes vitesses des gaz et qui, avec un coefficient d'efficacité de 90 %, atteint une transmission spécifique élevée de 30 000 kcal/m²h. Il fait ensuite un compte rendu des développements de la ventilation depuis les systèmes qui fonctionnent par tirage naturel, jusqu'aux systèmes actuels qui utilisent le tirage par ventilateur. L'auteur discute ensuite de l'organisation de l'étude des projets et mentionne quelques exemples parmi lesquels des études importantes en cours : l'une concerne les dispositions pour mesurer l'influence des facteurs climatiques sur la déperdition de chaleur à travers une paroi en contact avec l'air extérieur. Un autre exemple a trait aux mesures faites afin de déterminer le coefficient de déperdition thermique dans les murs extérieurs des maisons habitées.

CDU 697 (061.3).

### Dic l' cof 1      **Congress for Heating.**

**Development of heating and ventilating technique in Sweden since 1940.** HYDBERG (J.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Technical equipment (XXXVI)], 5 p., 6 fig.

After a general review of heating installations in present use, the lecturer gives a more detailed description of a new high-speed gas boiler which, with an efficiency factor of 90 %, gives the high specific transmission of 30 000 kcal/sq.m/h. Then he gives a report on ventilation developments starting with natural draft systems and ending with present-day devices using ventilator draft. Then, the author discusses the organization of investigating schemes and mentions certain examples taken from important investigations now in progress : an example refers to arrangements for measuring the influence of climatic factors on the heat loss through a wall in contact with outside air. Another example deals with the measurements for determining the heat loss coefficient in the outside walls of occupied dwellings.

UDC 697 (061.3).

### Dic l' cof 1      **Congrès du Chauffage.**

**Évolution des recherches et des techniques en Norvège depuis 1940.** WATZINGER (A.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Équipement technique (XXXVI)], 6 p., 5 fig.

Le conférencier définit les quantités de chaleur nécessaires au chauffage et les moyens employés avant et après la guerre pour les fournir.

La pénurie des ressources en charbon après la guerre a provoqué un accroissement des importations de coke. L'application croissante du courant électrique pour le chauffage, surtout dans les bâtiments neufs, a été rendue possible par une utilisation intensive des puissances hydrauliques disponibles.

On effectue des travaux systématiques de recherches dans tous les domaines de la technique du chauffage. Des études spéciales sont faites sur la conductibilité thermique des matériaux de construction et des isolants.

Le conférencier traite des mesures des pertes de chaleur dans les plaques soudées et les radiateurs de divers modes de construction.

Il fait un exposé des recherches statistiques sur les conditions climatiques dans les diverses parties du pays et du développement technique et industriel des installations de ventilation et de conditionnement d'air inspiré par les réalisations dans les plus grands pays.

CDU 697 (061.3).

### Dic l' cof 1      **Congress for Heating.**

**Development of research and technique in Norway since 1940.** WATZINGER (A.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Technical equipment (XXXVI)], 6 p., 5 fig.

The lecturer sketches the heat requirements for heating and the ways to meet them with various fuels before and after the war.

Scarcity of available fuels after the war increased the imports of coke. Increased application of electric current to heating, mainly in new buildings, was made possible through an intensive appropriation of the available water power.

Systematic research work is being pursued in all technical fields of heating. Special studies are made on thermal conductivity of building and insulating materials.

The lecturer discusses the measures of losses in welded plates and in radiators of various types.

An account is given of statistical research on climatic conditions in various districts of the country and of technical and industrial development of ventilating and air conditioning plants, according to the achievements of larger countries.

UDC 697 (061.3).

Dic l' cof 1      *Congrès du Chauffage.*

**Évolution des recherches et des techniques au Danemark depuis 1940.** JACOBSEN (S. P.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Équipement technique (XXXVI)], 13 p., 15 fig.

Les essais thermotechniques et les travaux de recherche sont effectués au Danemark par divers laboratoires dont certains sont consacrés à la formation des ingénieurs du chauffage et aux questions correspondantes, tandis que les autres sont de purs instituts de recherche. En outre, des commissions nommées par les divers ministères, par l'Académie des Sciences Techniques, par l'Institut des Ingénieurs Civils Danois et par divers organismes, traitent d'autres problèmes d'intérêt courant.

Les types d'installation pour l'obtention de l'eau chaude pour les applications industrielles et domestiques se sont développés et ont provoqué un remplacement de plus en plus important des anciennes chaudières par des types nouveaux qui permettent d'employer les plus économiques des combustibles.

En même temps le service du chauffage urbain s'est beaucoup développé et pendant ces dernières années il a été exécuté en combinaison avec la distribution de l'électricité, de sorte que l'augmentation de la pression des chaudières et de la production de l'électricité dans des turbines à contre-pression avec utilisation de la vapeur de contre-pression pour le chauffage urbain, ont permis une utilisation économique des combustibles et ce fait a une grande importance dans un pays comme le Danemark où normalement tout le combustible doit être importé.

CDU 697 (061.3).

Dic l' cof 1      *Congrès du Chauffage.*

**Évolution des recherches et des techniques en Suisse depuis 1940.** KAMM (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 [Équipement technique (XXXVI)], 14 p., 42 fig.

Etant obligé d'importer les principaux combustibles, soit le charbon, soit le mazout, on les emploie avec beaucoup de précautions. Comme source de chaleur on utilise même les rivières, les lacs à l'aide de la pompe thermodynamique.

Pour les besoins de chaleur en été (industrie et production d'eau chaude), on emploie en général l'énergie hydro-électrique,

La description des chaudières, des radiateurs, des circulateurs, des brûleurs à mazout, des chaudières électriques, donne une impression de quelques constructions suisses.

Au point de vue du chauffage par rayonnement, l'auteur parle des systèmes les plus employés.

Les publications des recherches sont très rares parce que les recherches se font surtout dans les différentes maisons et non dans les instituts techniques publics.

Pour terminer, M. KAMM donne des renseignements sur la nouvelle méthode suisse de calcul des déperditions thermiques des locaux, une méthode assez simple, qui est beaucoup inspirée par les recherches françaises.

CDU 697 (061.3).

Dic l' cof 1      *Congress for Heating.*

**Development of research and technique in Denmark since 1940.** JACOBSEN (S. P.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Technical equipment (XXXVI)] 13 p., 15 fig.

Thermo-technical testing and research work is carried out in Denmark by various laboratories, some of which are devoted to the thermal-engineering education and related subjects, while others are straight research institutes. Furthermore, commissions appointed by the various Ministries, the Academy of Technical Sciences, the Institution of Danish Civil Engineers, and other bodies handle other problems of current interest.

Types of plants for the preparation of hot water for industrial and domestic purposes have developed and caused an increasing replacement of old boilers by boiler types which make it possible to use at any time the cheapest sorts of fuel.

At the same time the district heating service has extended very much, and during recent years this has been carried on in combination with the electricity supply, so that an increase of the boiler pressure and the production of electricity in back-pressure turbines and the use of the back-pressure steam for district heating purposes make an economic utilization of the fuel possible, and this fact is of great importance in a country like Denmark, where normally all fuel must be imported.

UDC 697 (061.3).

Dic l' cof 1      *Congress for Heating.*

**Development of research and technique in Switzerland since 1940.** KAMM (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (July-August 1953), n° 67-68 [Technical equipment (XXXVI)], 14 p., 42 fig.

Since the main fuels (both coal and fuel oil) must be imported, they are used sparingly. Even rivers and lakes are used as sources of heat by means of thermodynamic pumps.

For summer heating requirements (industry and hot water production), hydro-electric energy is generally used.

The description of boilers, radiators, circulators, fuel-oil burners and electric boilers gives an idea of some Swiss achievements.

In the field of radiant heating, the author deals with the most common systems.

The research publications are very rare, since research is mainly done by the various companies and not by public technical institutes.

In conclusion, Mr. KAMM explains the new Swiss systems of calculating thermal losses on the premises, a rather simple method much influenced by French research.

UDC (697 (061.3).

SUPPLÉMENT AUX  
ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N°s 67-68.

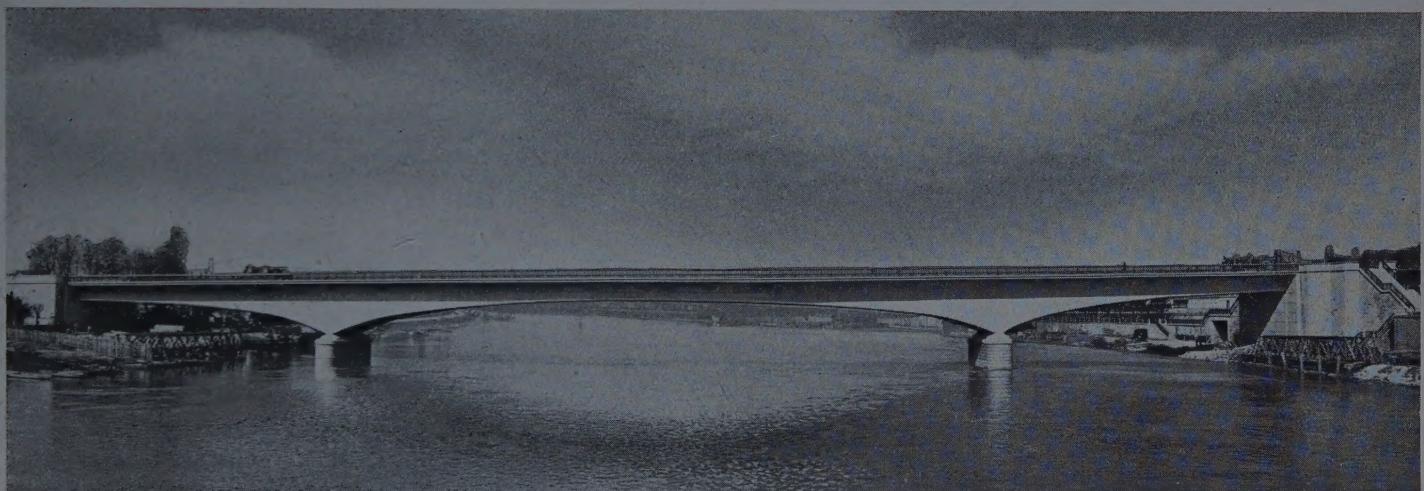
Série : TRAVAUX PUBLICS (XXII).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1952

Sous la présidence de **M. de BUFFEVENT**,  
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées du département de Seine-et-Oise.

## LE PONT DE VILLENEUVE-SAINT-GEORGES



Nouveau pont en béton postcontraint réglable de Villeneuve-Saint-Georges.

### Conception de l'ouvrage et problèmes posés par sa réalisation.

Par **M. Henry LOSSIER**, Ingénieur-Conseil.

### Les enseignements tirés du chantier en matière de contrôle de la qualité des matériaux.

Par **M. Michel BONNET**, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

### Etude de certains problèmes de chantier.

Par **M. Lucien THOMAS**, Sous-Directeur des Établissements Fourré et Rhodes.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS  
ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES  
ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE LA PRÉCONTRAINTE

## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Je dois d'abord m'excuser d'occuper le fauteuil présidentiel. Pour une conférence qui est présentée à la fois sous les auspices de l'**Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics** et de l'**Association Française des Ponts et Charpentes**, il est bien évident qu'il y aurait eu d'autres personnalités, beaucoup plus qualifiées, pour occuper ce poste. Je pense que l'explication en est — sinon la justification — de me permettre, en tant qu'**Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées de Seine-et-Oise**, de dire quelques mots, en chapeau des exposés que vous allez entendre, pour situer la reconstruction du pont de Villeneuve-Saint-Georges dans le cadre de la reconstruction des ponts de Seine-et-Oise détruits par faits de guerre, et pour expliquer comment, par la pente naturelle des choses, ce chantier est devenu, dans une certaine mesure, un chantier expérimental, voire même un chantier-laboratoire.

Quand survint la Libération, 103 ponts de Seine-et-Oise, correspondant à une brèche totale de 3 410 m — dont 32 ponts complètement détruits sur la Seine, la Marne et l'Oise — étaient à reconstruire. Il apparut intéressant, à l'époque, de profiter de l'une au moins de ces reconstructions pour réaliser un ouvrage d'un type entièrement nouveau, susceptible d'apporter une contribution aux techniques nouvelles du béton armé.

Parmi les chantiers à ouvrir, celui de Villeneuve-Saint-Georges situé à proximité de Paris et d'un accès facile, présentait à cet égard des avantages certains. La présence, sur place, d'une entreprise solidement charpentée qui, lorsque la guerre éclata, venait à peine de terminer la construction du pont détruit dont elle avait obtenu le marché au concours, la possibilité de faire appel à son Ingénieur-Conseil hautement qualifié, **M. Lossier**, étaient autant d'indications favorables qui emportèrent finalement le choix de l'Administration.

C'est ainsi qu'est né le projet du pont en béton armé précontraint de Villeneuve-Saint-Georges, fruit d'une collaboration étroite de l'**Ingénieur-Conseil**, du Service des Ponts et Chaussées et de l'entreprise, sous le contrôle du Service Central d'études techniques du Ministère des Travaux Publics et, pour la partie architecturale, avec le concours de **M. Jean Desmaret**, architecte en Chef des bâtiments civils.

Le caractère assez exceptionnel de cet ouvrage, qui est en quelque sorte un prototype, imposait de ne rien laisser au hasard. Il fallait, en particulier, être sûr, à tout moment de la qualité des matériaux employés, et notamment, à une époque où la régularité des lots de ciment laissait souvent à désirer, de celle du béton mis en œuvre. De très nombreux essais de réception en usine et de contrôle sur le chantier furent donc effectués : essais de qualité des aciers moulés, essais physiques des câbles en vue de déterminer leurs propriétés élastiques, leur charge de rupture ainsi que les pertes éventuelles par fluage au voisinage de leur tension de service, essais de qualité des alliages utilisés pour les culotages, essais de qualité du béton et mesure de ses déformations sous l'effet de la

charge permanente, au moyen de témoins extensométriques Coyne, etc.

Des études expérimentales, qui ont été poussées le plus souvent au-delà de ce qu'il eut été strictement nécessaire et qui ont largement débordé le cadre du chantier lui-même, ont été effectuées et il doit être possible, sur un plan plus général, d'en tirer des enseignements utiles pour l'art de l'ingénieur.

Le mérite en revient, je tiens à le dire, à deux ingénieurs pleins de ressources et qui se sont très vivement intéressés à leur travail : **MM. René Durand et Michel Bonnet**, chargés successivement de l'arrondissement de l'Est du service des Ponts et Chaussées de Seine-et-Oise et qui, à ce titre, ont eu, du côté de l'Administration, la charge de la mise au point des projets et de la direction des travaux.

**M. René Durand** a malheureusement quitté le service de l'État au début de 1950 — quand je dis « malheureusement » c'est, bien entendu, à l'État que je pense — et, actuellement au Maroc, ne pouvait être des nôtres ce soir.

**M. Michel Bonnet** vous parlera tout à l'heure plus spécialement des essais de résistance du béton qui ont été poursuivis comparativement sur trois types d'éprouvettes de forme différente — cubique, prismatique, cylindrique — et qui sont de nature à apporter une contribution nouvelle et intéressante, je crois, aux problèmes du contrôle de la qualité du béton sur les chantiers d'ouvrages d'art.

Sur un plan plus immédiatement utilitaire, ces essais ont permis de dégager un critère de qualité et une formule rationnelle de « prime de bon béton », réclamée avec raison par l'entreprise et à l'introduction de laquelle l'Administration, de son côté, doit certainement trouver son compte.

Au préalable, **M. Lossier**, l'éminent Ingénieur-Conseil qui est trop connu pour qu'il soit besoin de vous le présenter, vous aura exposé la conception même de l'ouvrage et l'application originale qu'il y a faite de la formule de la précontrainte.

Enfin, pour terminer, **M. Thomas**, Sous-Directeur des Établissements Fourré et Rhodes, auxquels, en passant, je me fais un plaisir de décerner un témoignage de satisfaction qui s'adresse aussi bien aux cadres techniques et à la maîtrise qu'au personnel d'exécution lui-même, vous présentera un film documentaire pris au cours des travaux et qui, certainement mieux que tout commentaire, exposera clairement les solutions apportées aux problèmes parfois délicats posés par la réalisation de l'ouvrage.

Cette présentation tripartite soulignera encore, s'il en était besoin, l'étroite et fructueuse collaboration qui, au cours de plusieurs années de travail en commun, n'a cessé d'associer l'**Ingénieur-Conseil**, le Service des Ponts et Chaussées Maître de l'œuvre, et l'entreprise pour la réalisation d'une œuvre commune.

Je vais maintenant donner la parole à **M. Henry Lossier**.

### RÉSUMÉ

Le pont de Villeneuve-Saint-Georges, du type cantilever, est à trois travées dont la centrale comporte une poutre indépendante. Le tablier réalisé en poutre caisson à trois compartiments est en béton postcontraint dans le sens longitudinal. La chaussée est encadrée par deux trottoirs en encorbellement. Le tablier repose par des articulations en béton fretté sur les piles rehaussées de l'ancien pont et par des pendules en béton fretté sur les culées. La contrainte, réglable en tout temps à l'intérieur de l'ouvrage est réalisée par des câbles de ponts suspendus passant sur des balanciers articulés. La composition et le contrôle du béton ont fait l'objet de nombreux essais dont les résultats sont commentés. La construction, qui exigeait le maintien d'une passe navigable, a vu le bétonnage successif de deux consoles culassées sur cintre, puis de la travée indépendante sur cintre suspendu.

### SUMMARY

The cantilever bridge at Villeneuve-Saint-Georges comprises three spans, the central span of which includes a suspended girder. The deck, consisting of a box girder in three longitudinal cells, is made of longitudinally post-stressed concrete. The roadway is flanked with two cantilevered sidewalks. The deck rests on hinges of hooped concrete placed on top of the raised piers of the old bridge and on rockers of hooped concrete placed on top of the abutments. The internal stresses can be adjusted at all times through cables of suspension-bridge type stretched over hinged rockers. The proportions and properties of the concrete mix have been controlled with the aid of numerous tests, the results of which are commented upon. The construction had to be carried out so as to leave a navigable channel free at all times. Therefore, the concreting of the anchor and cantilever arms was done on falsework and the suspended beam was subsequently concreted on a hung centering.

## EXPOSÉ DE M. HENRY LOSSIER

La plupart d'entre vous connaissent déjà le pont de Villeneuve-Saint-Georges, soit pour l'avoir visité, soit pour avoir lu sa description (voir page de couverture).

Aussi serai-je aussi bref que possible, afin de réservier tout le temps nécessaire à l'intéressant exposé de M. Michel Bonnet d'une part et à la présentation du film, confié à M. Thomas, d'autre part.

Le pont de Villeneuve-Saint-Georges franchit la Seine par trois travées qui mesurent respectivement 41 m, 78,20 m et 41 m de portée axiale. Son tablier comporte une chaussée de 8,40 m et deux trottoirs de 2,80 m de largeur, soit une largeur utile de 14 m au total.

Il est du type Cantilever, avec une partie indépendante de 39,11 m de longueur au milieu de la travée centrale (fig. 1 et 2).

Son tablier comporte trois caissons accessibles de l'extérieur, communiquant entre eux et munis d'un éclairage électrique pour faciliter la visite et le réglage des câbles qui sont placés à l'abri des intempéries, à l'intérieur des caissons (fig. 3).

La mise en compression artificielle de l'ouvrage, prévue dans le sens longitudinal seulement, pouvait être réalisée par deux méthodes principales :

— en premier lieu, par la précontrainte imaginée en 1888 par Döhring, à laquelle le génie de M. Freyssinet a donné le magnifique développement que nous admirons aujourd'hui, et qui consiste à noyer dans le béton, avant son durcissement, des armatures préalablement mises en traction. Sous une forme différente, le très ingénieux procédé de M. Chalos rentre dans cette catégorie.

— en second lieu, par la postcontrainte, créée d'abord par Fabers, et qui consiste à n'appliquer l'action des armatures qu'après durcissement suffisant du béton de l'élément à traiter.

C'est cette seconde méthode que nous avons adoptée et qui s'apparente d'ailleurs à certaines conceptions de nos Maîtres français Considère, Mesnager et Rabut.

Nos armatures de précontrainte restent visibles, réglables et même remplaçables en tous temps.

Dans ce même but, Dischinger avait utilisé des barres d'acier mi-dur de gros diamètre relatif, dont la raideur entravait les opérations de réglage dans les parties pliées de ces barres.

C'est pour supprimer cet inconvénient que nous avons utilisé non des barres rigides, mais au contraire des câbles souples de ponts suspendus, passant sur des balanciers en béton armé ou en acier. Ces balanciers sont en fait des poulies limitées à

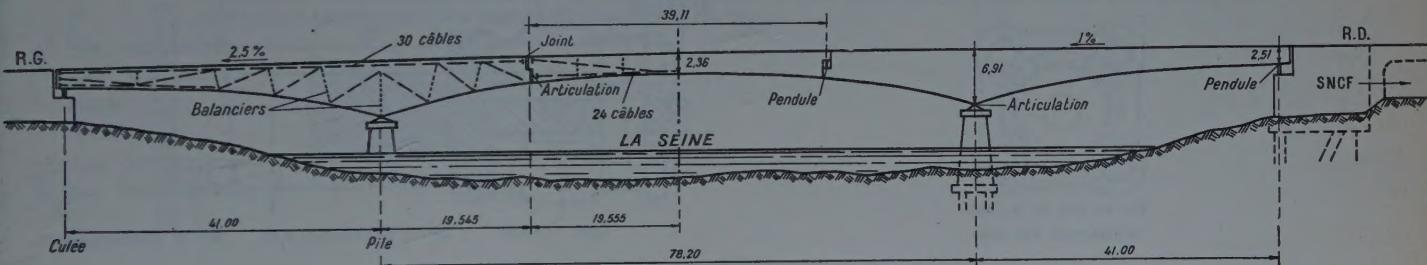


FIG. 1. — Demi-coupe et demi-élévation de l'ouvrage.

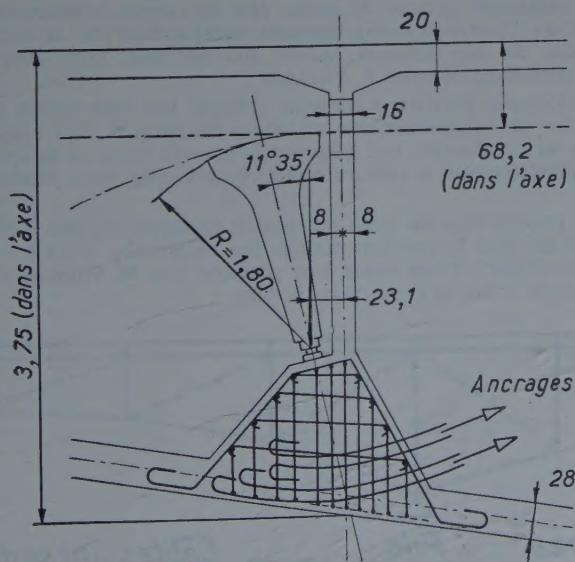


FIG. 2. — Balancier en béton armé et fretté.

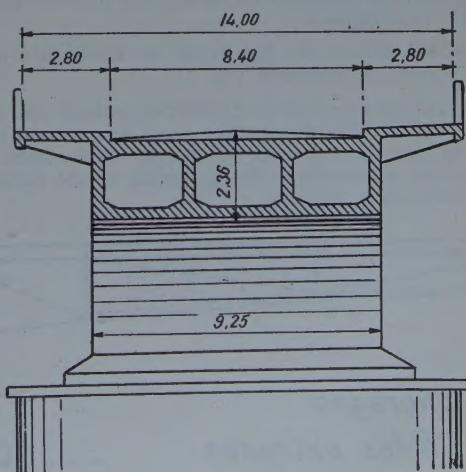


FIG. 3. — Coupe transversale du tablier.

leur partie active ; ils sont munis, à leur base, d'une articulation en acier moulé comportant deux surfaces cylindriques de rayons légèrement différents, c'est-à-dire fonctionnant non par frottement, mais uniquement par roulement.

Les figures 1 et 2 représentent schématiquement ces dispositifs, que le film explicitera complètement dans un instant.

Les câbles spiraloïdaux utilisés comportent chacun 193 fils de 4,1 mm de diamètre et 160 à 180 kg/mm<sup>2</sup> de résistance à la traction. Le remplissage de leurs culots en acier moulé est réalisé avec un alliage ternaire comportant 83,7 % de plomb, 9,3 % d'antimoine et 7 % d'étain, mis en œuvre à 350° et conduisant à un coefficient de remplissage de 98 %. Ces câbles, tendus normalement à 63 kg/mm<sup>2</sup>, exercent un effort longitudinal total de compression de 4 800 t au droit des piles et 3 840 t dans la partie indépendante centrale.

Leur contrainte pourrait être d'ailleurs sensiblement augmentée sans inconvenients car, d'une part, ils sont soustraits aux intempéries tandis que, d'autre part, cette contrainte est pratiquement constante dans le temps, conditions beaucoup plus favorables que celles relatives aux câbles des ponts suspendus.

L'ancre des câbles dans le béton (fig. 4, 5 et 6) s'effectue à l'aide d'une plaque en acier moulé retenue par quatre tiges de 64 mm de diamètre en acier mi-dur ; sur chacune d'elles sont soudées trois barres de 32 mm de même métal dont les croches d'extrémité assurent la résistance à l'arrachement.

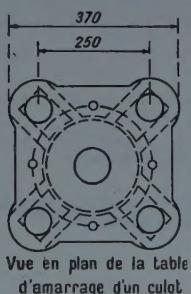


FIG. 4. — Plaque d'amarrage d'un culot.

Les vérins de mise en charge, d'un type très simple, agissent entre la plaque d'ancre et la base du culot de chaque câble.

En cas d'avarie (bombardements, etc.), les câbles pourraient être remplacés par groupes de deux, sans interrompre la circulation sur l'ouvrage.

Le tracé des câbles est déterminé de manière à satisfaire aux deux conditions suivantes (fig. 7) :

1<sup>o</sup> Sous la seule action de la charge permanente, la résultante des forces sollicitantes doit passer aussi exactement que possible par le centre de gravité de chaque section, afin que les contraintes de compression longitudinale soient réparties de façon sensiblement uniforme.

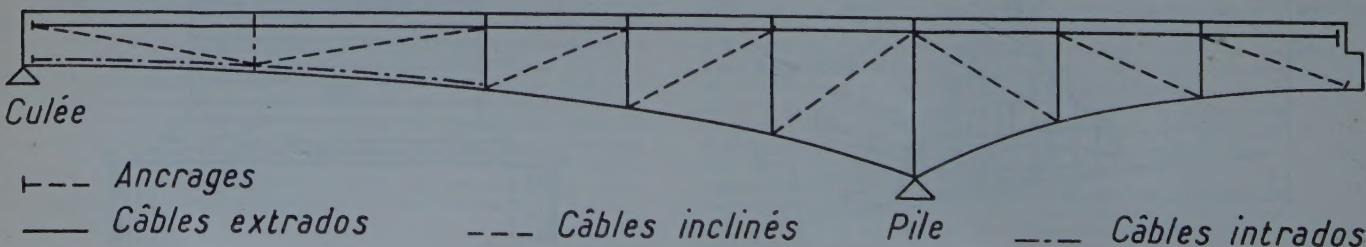


FIG. 7. — Tracé des câbles dans les consoles et culasses.

2<sup>o</sup> Dans les cas de surcharge les plus défavorables, les contraintes de compression longitudinale du béton ne doivent jamais descendre au-dessous de 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Quant au caractère réglable en tous temps de la tension des câbles, à l'abri et à l'intérieur du tablier, réalisable sans arrêter la circulation, il répond à deux buts principaux :

— D'abord permettre de compenser, au fur et à mesure et à la demande, la détente que provoquent normalement le retrait du béton, son fluage ou déformation lente sous contrainte,

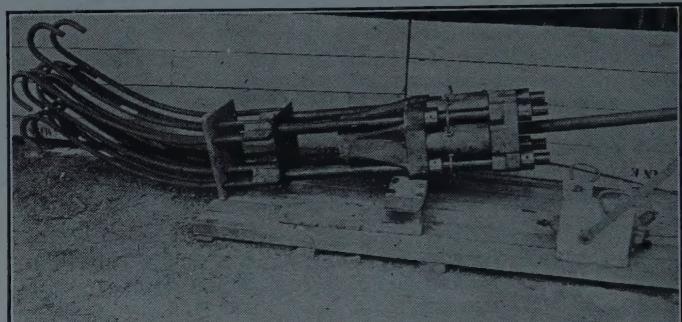


FIG. 6. — Armatures d'ancre d'un câble.

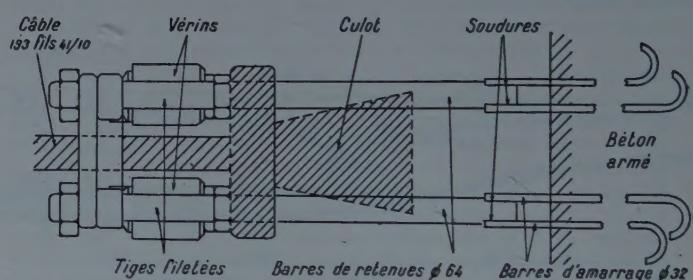


FIG. 5. — Dispositif de mise en tension d'un câble avec vérins et pompe.

et la relaxation propre du métal, afin de rendre le fonctionnement de l'ouvrage complètement indépendant de la valeur absolue de ces facteurs, valeur qui ne peut être évaluée qu'approximativement à l'avance ;

— Ensuite, permettre de tenir compte, par une simple surtension des câbles réalisée en cours de service, des majorations de surcharges qui peuvent intervenir dans le temps et qui interviennent d'ailleurs effectivement déjà dans plusieurs cas.

Le programme de mise en tension progressive des câbles, fixant de plus la position initiale des balanciers, a fait l'objet, de notre part, d'une étude très poussée que M. Thomas vous exposera avant la projection du film.

Vous verrez avec quelle souplesse de manœuvre ont été harmonisées ces mises en tension avec les opérations de cintrage et de décintrage du tablier.

\* \* \*

Lors des essais du pont de Villeneuve-Saint-Georges, la flèche maximum n'a pas excédé 13 mm, soit le 1/6 000 de la portée de la travée centrale.

Par ailleurs, l'accroissement de la traction des câbles sous le passage des surcharges atteignit 0,7 mm au maximum, ce qui revient pratiquement à dire que cette traction est demeurée constante.

Si notre type postcontraint, appliqué avec le souci de mettre au point plusieurs questions importantes pour l'avenir, n'a pas accusé d'économie de dépense par rapport au pont primitif, il a toutefois permis de relever le niveau d'intrados de 1,50 m au droit des piles et de 0,30 m au milieu de la travée centrale, améliorant ainsi notablement le gabarit de la navigation. De plus, le poids du métal utilisé fut nettement plus faible grâce à l'emploi des câbles à haute résistance.

Trois opérations de réglage des câbles dans le temps ont été prévues à priori, réparties sur trois années.

**Le Président.** — Je pense être l'interprète de tous en félicitant **M. Lossier** pour son intéressant exposé.

Je passe maintenant la parole à **M. Michel Bonnet** qui va vous parler des essais de résistance des matériaux et notamment des essais de résistance du béton.

Une centaine d'extensiomètres acoustiques Coyne ont été noyés à demeure dans le béton des voiles longitudinaux et transversaux. Des colliers ont été fixés sur les câbles pour servir de base aux mesures d'allongements, complétant et corroborant ainsi les indications des manomètres des vérins.

J'ajouterais, en terminant cet exposé volontairement succinct, que, sacrifiant à l'usage du jour, j'ai procédé à l'autocritique de ma conception première, notamment en ce qui concerne le type général de l'ouvrage d'une part, et les dispositifs d'ancre et de tension des câbles. Pour ce dernier point, **M. Charles Berger**, des Établissements Fourré et Rhodes, a procédé à d'intéressantes recherches qui seront publiées ultérieurement.

Des économies peuvent être escomptées dès maintenant pour nos réalisations futures.

Enfin l'utilisation, dans un même ouvrage, de la post-contrainte mécanique et de l'autocontrainte engendrée par l'énergie des ciments expansifs assurera, dans des conditions d'exécution très simples, la réalisation de la triple étreinte convergente, avec tous ses avantages, bien connus depuis longtemps, pour la résistance et la ductilité du béton.

Je remercie enfin mon collaborateur, **M. Kellner**, pour son aide dans l'établissement des plans du pont de Villeneuve-Saint-Georges.

## **EXPOSÉ DE M. MICHEL BONNET**

### **Introduction.**

Lors de la reconstruction du pont de Villeneuve-Saint-Georges, qui présente à certains égards, les caractères d'un prototype, nous nous sommes trouvés devant la nécessité de contrôler avec le plus grand soin la qualité du béton mis en œuvre.

Un tel contrôle n'est pas simple : s'il est relativement facile de faire des essais, il est, par contre, beaucoup plus difficile de les interpréter correctement.

Je désire, dans le présent exposé, vous expliquer ce que nous avons fait, en vue de résoudre ce problème délicat. J'indiquerai ensuite quelques conclusions d'ordre général qui nous ont été suggérées par l'examen des résultats expérimentaux acquis à cette occasion.

### **I. — Nature des essais effectués.**

L'Entreprise était tenue, au terme de son contrat, de préparer un échantillon de 12 éprouvettes prismatiques  $10 \times 10 \times 30$  chaque fois qu'elle mettait en œuvre  $10 \text{ m}^3$  de béton.

Elle désira contrôler les résultats acquis sur ces éprouvettes d'un type inusité, en faisant effectuer parallèlement par un autre laboratoire, des essais sur éprouvettes cubiques  $20 \times 20 \times 20$  à raison de 9 par  $10 \text{ m}^3$  de béton mis en œuvre.

L'expérience a montré le très grand intérêt que présentait la confrontation des résultats expérimentaux ainsi obtenus sur plus de 3 000 éprouvettes moulées de divers types.

Ces éprouvettes ont été préparées, conservées et éprouvées en laboratoire, avec un très grand soin. Toutes les opérations successives ont été surveillées : préparation des moules métalliques, remplissage, serrage du béton sur tables vibrantes, démoulage et numérotation des éprouvettes, conservation durant deux jours sur le chantier, transport et conservation au laboratoire jusqu'à la date de l'épreuve de rupture par compression.

L'épreuve de rupture, elle-même, a été suivie de très près au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ; nous avons utilisé un gabarit métallique de centrage des éprouvettes sur le plateau de la presse ; nous avons contrôlé la vitesse d'application des charges ; nous nous sommes efforcés que tous les essais soient conduits par le même opérateur.

Malgré toutes ces précautions, des divergences notables ont été constatées entre les séries de résultats acquis sur les deux types d'éprouvettes prismatiques et cubiques.

Sur le conseil de **M. Marcel Prot**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, nous avons alors, fait préparer lors du bétonnage de la travée indépendante centrale, des éléments de faux-voiles semblables aux voiles longitudinaux de l'ouvrage. Nous avons ensuite découpé dans ces éléments 72 éprouvettes prismatiques et cubiques que nous avons fait rompre par compression.

Tout cet ensemble d'essais a été complété par des déterminations directes du module d'Young, des essais de densité et des épreuves à la table à secousses.

\* \*

Ces divers résultats ont été enregistrés, classés, puis dépouillés avec soin. Chaque série a été caractérisée par les éléments suivants :

Nombre d'essais  $N$ ;  
Moyenne arithmétique des résultats  $B$ ;  
Écart moyen arithmétique  $C$ ;  
Écart moyen quadratique  $s$ .

Ainsi, pour les éprouvettes moulées, nous avons d'abord classé les résultats par type d'éprouvette, et ceci, pour chacun des trois éléments d'ouvrage (<sup>1</sup>). Nous avons opéré ainsi pour les trois âges de rupture : 7 jours, 28 jours et 90 jours, ce qui a conduit finalement à envisager  $6 \times 3 = 18$  séries d'essais, chaque série comportant de 150 à 250 essais. Les éléments ( $N, B, C, s$ ) ont été déterminés par le calcul pour chacune de ces 18 séries.

Nous avons ensuite recommencé les calculs en considérant, cette fois, dans chacune des 18 séries, les moyennes des résultats obtenus par groupage des éprouvettes issues d'une même gâchée.

Les résultats de ces calculs ont été reportés sur des diagrammes.

L'examen attentif de ces diagrammes nous a conduit à formuler quelques conclusions d'ensemble, que nous allons exposer à présent.

### **II. — Conclusions résultant de l'examen des résultats « bruts » des essais.**

Nous résumerons brièvement les conclusions comme suit :

1<sup>o</sup> Les résultats expérimentaux sur éprouvettes moulées, varient notablement avec le type de l'éprouvette.

2<sup>o</sup> Même pour des séries d'essais conduisant à des caractéristiques élevées (moyenne élevée, dispersion faible) il n'est pas exceptionnel de trouver quelques résultats très défectueux.

3<sup>o</sup> La dispersion des résultats demeure importante, même lorsqu'il semble que les précautions voulues ont été prises pour la réduire au minimum.

4<sup>o</sup> Les résultats acquis sur éprouvettes découpées sont très supérieurs à ceux qui sont obtenus à partir d'éprouvettes moulées.

Développons, à présent, brièvement chacun de ces différents points.

(<sup>1</sup>) Poutre console-culasse rive gauche ; poutre console-culasse rive droite ; travée indépendante centrale.

1<sup>o</sup> Les taux de rupture varient dans des proportions considérables suivant le type de l'éprouvette; la comparaison systématique des séries correspondantes d'essais sur prismes 10 × 10 × 30 et sur cubes 20 × 20 × 20, prélevés au cours du bétonnage des mêmes éléments d'ouvrage, nous a conduit à conclure que, si nous essayons 1 000 éprouvettes de chaque type et que nous classsons par ordre croissant les résultats d'essais, les 500 plus mauvaises éprouvettes se rompront au-dessous d'un taux  $R_p$  qui est les 80/100 du taux  $R_c$  au-dessous

duquel se sont rompues les 500 plus mauvaises éprouvettes cubiques.

Pour la 850<sup>e</sup> éprouvette prismatique, ce taux tend vers 87 %.

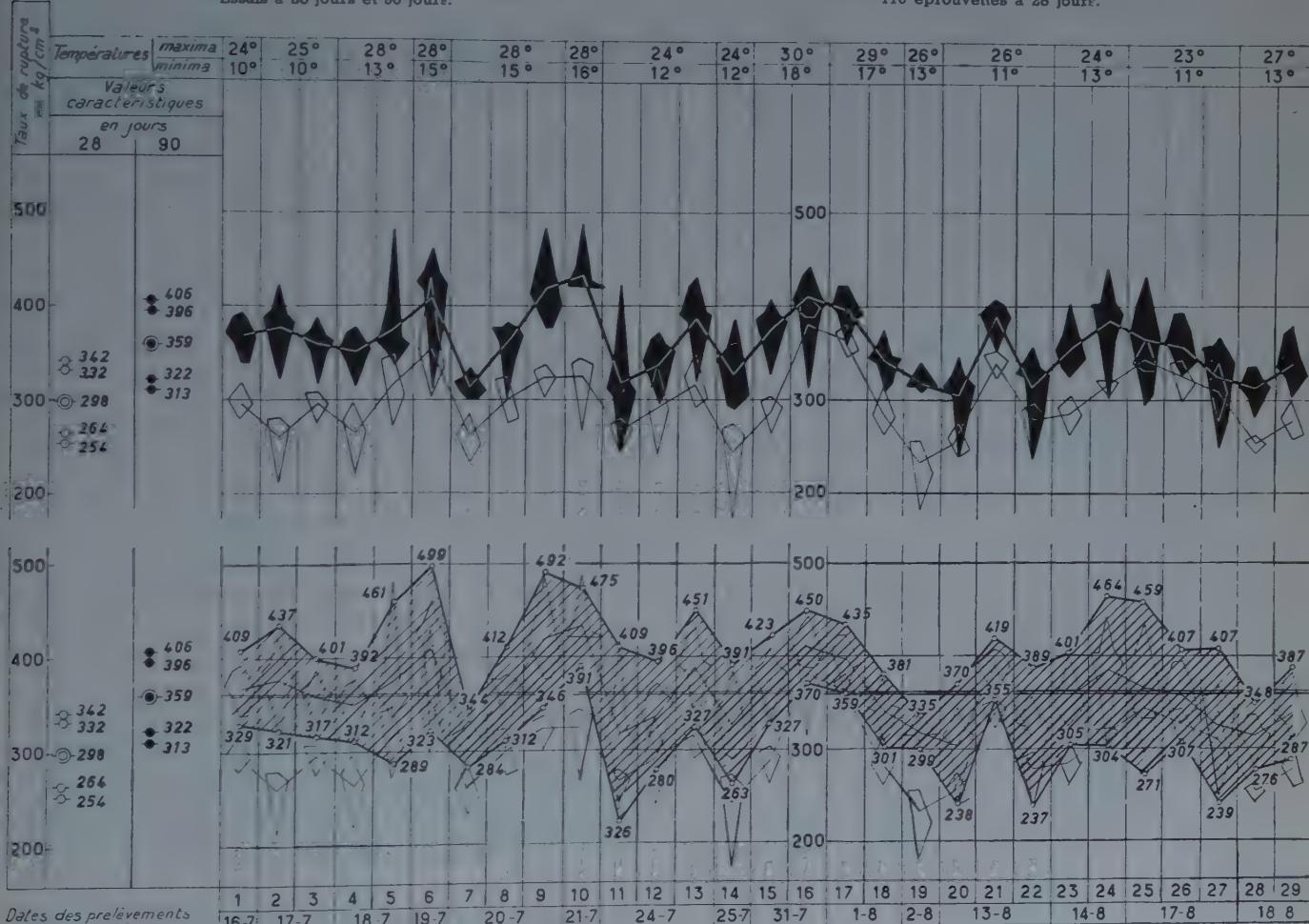
Il s'agit là d'une constatation classique, sur laquelle nous n'insistons pas.

2<sup>o</sup> L'examen des meilleures séries d'essais montre que de mauvais résultats sont toujours possibles. Ainsi, la série de 200 éprouvettes cubiques relatives à la travée indépendante

Travée indépendante centrale.

Résistance à la compression sur éprouvettes prismatiques 10 × 10 × 30.

Essais à 28 jours et 90 jours.



Les sommets des polygones représentent les taux d'écrasement des éprouvettes de chaque prélevement :

◆ à 90 jours;

◇ à 28 jours.

Graphique des moyennes arithmétiques de chaque prélevement :

— à 90 jours;  
— à 28 jours.

Les « zones d'incertitude » relatives à la qualité du béton des diverses gachées sont hachurées ( $p = 0,999$ ).

Caractéristiques de l'ensemble des taux d'écrasement des éprouvettes :

- Ecart moyen quadratique;
- Ecart moyen arithmétique;
- (●) Moyenne arithmétique;
- (○) Ecart moyen arithmétique;
- (○) Ecart moyen quadratique.

FIG. 8 et 9.

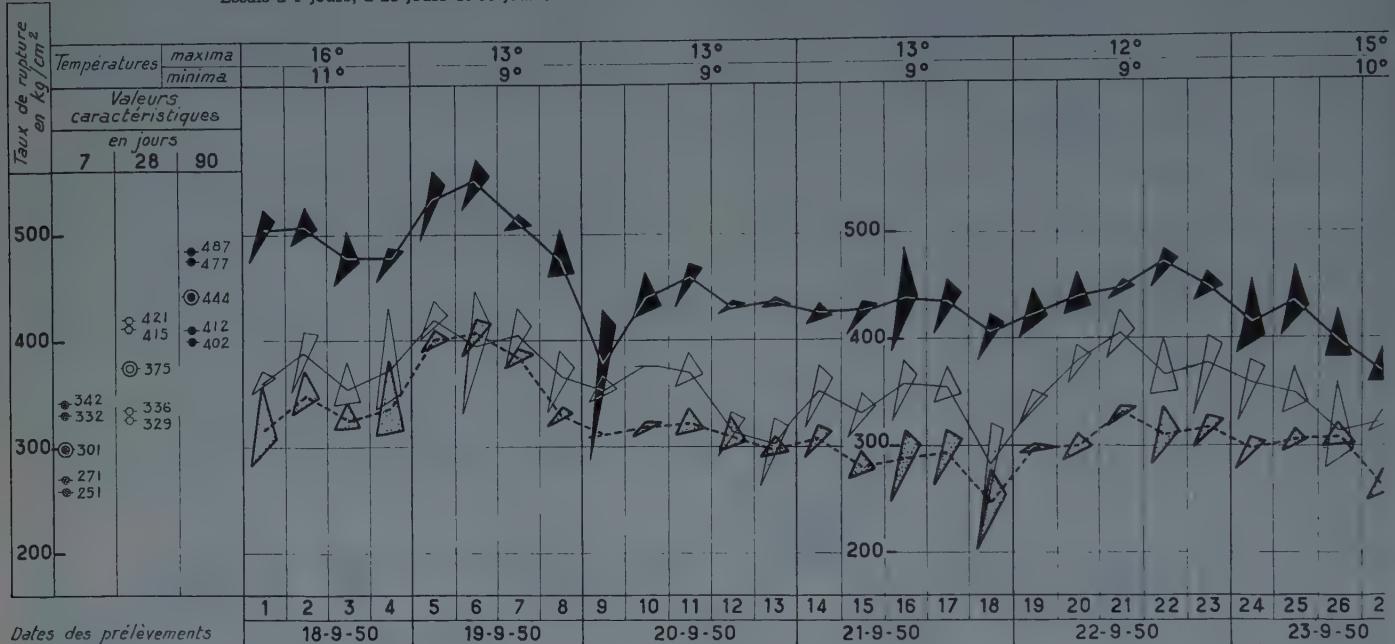
Poutre console culasse — Rive droite.

Résistance à la compression sur éprouvettes cubiques  $20 \times 20 \times 20$ .

Essais à 7 jours, à 28 jours et 90 jours.

DESSIN PARTIEL

69 prélèvements de 9 éprouvettes,  
soit 207 éprouvettes à 7 jours;  
soit 207 éprouvettes à 28 jours;  
soit 207 éprouvettes à 90 jours.



Les sommets des triangles représentent les taux d'écrasement des trois éprouvettes de chaque prélevement :

- ▲ à 90 jours;
- △ à 28 jours;
- △ à 7 jours.

Graphique des moyennes arithmétiques de chaque prélevement :

- à 90 jours;
- à 28 jours;
- à 7 jours

FIG. 10.

Caractéristiques de l'ensemble des taux d'écrasement des éprouvettes :

- Écart moyen quadratique;
- Écart moyen arithmétique;
- Moyenne arithmétique;
- Écart moyen arithmétique;
- Écart moyen quadratique.

centrale a conduit aux résultats suivants, particulièrement remarquables, à 90 jours :

$$M = 494 \text{ kg/cm}^2 \quad s = 48 \text{ kg/cm}^2.$$

Et cependant, dans cette série, nous trouvons un résultat mauvais :

$$280 \text{ kg/cm}^2.$$

Cette observation — qui semble condamner les « valeurs minima acceptables » — est lourde de conséquences.

3<sup>e</sup> Les essais de compression, tels qu'ils sont habituellement pratiqués, conduisent à des séries de résultats présentant des dispersions importantes, même lorsque des précautions particulières ont été prises sur le chantier et au laboratoire en vue d'obtenir des éprouvettes bien faites et des essais homogènes.

Pour nos essais, le rapport C/B de l'écart moyen arithmétique à la moyenne arithmétique ne descend pas au-dessous de 6 à 7 % pour les cubes, et de 9 à 10 % pour les prismes.

Une part importante de cette dispersion doit être due, non à l'hétérogénéité du matériau, mais bien à la technique de l'essai. Nous avons veillé au centrage correct de l'éprouvette sur le plateau de la presse et, sur les indications de M. Marcel Prot, nous avons muni les extrémités de certaines éprouvettes, de têtes métalliques rapportées, dont l'une est munie d'une rotule ; le rapport C/B s'est abaissé à 4 % environ.

Il doit être difficile de descendre au-dessous.

Nous avons cherché à préciser la nature des dispersions observées, en regroupant les résultats acquis sur éprouvettes en provenance des mêmes gâchées. Nous avons cherché, ce faisant, à dissocier :

- La dispersion des essais au sein d'une gâchée ;
- La dispersion intervenant d'une gâchée à l'autre.

Les diagrammes que nous avons construits (fig. 8 et 10) portent en abscisses les numéros des différentes gâchées, et en ordonnées les taux de rupture observés pour les diverses éprouvettes appartenant à cette gâchée. Les taux de rupture constituent pour une gâchée déterminée les sommets d'un

polygone fermé dont le centre de gravité représente la moyenne.

Les diagrammes ainsi obtenus sont très suggestifs :

— La surface du polygone fermé traduit l'homogénéité de la gâchée correspondante.

— Le lieu des centres de gravité des triangles traduit les oscillations de la qualité moyenne du béton d'un jour à l'autre.

Nous avons ainsi vérifié sur les diagrammes relatifs aux éprouvettes cubiques  $20 \times 20 \times 20$  ( $468 + 621 + 306 = 1\,395$  éprouvettes rompues) un remarquable parallélisme entre « courbes moyennes » à 7, 28 et 90 jours. Cette constatation nous renforce dans l'idée qu'il est possible de prévoir la qualité d'un béton à 90 jours d'après les résultats acquis à 28 jours.

Il résulte de l'ensemble de nos séries d'essais, que pour un béton de ciment artificiel 250/315 dosé à raison de 400 kg de ciment par mètre cube; la résistance à la rupture par compression à l'âge de 28 jours est comprise entre 84 % et 87 % de la même résistance à 90 jours.

Nous nous sommes demandé quelle est la cause des variations de la résistance moyenne des gâchées observées au cours du bétonnage.

Nous avons confronté, sans succès, ces variations avec celles de la température ambiante relevée chaque jour sur le chantier; nous aurions peut-être obtenu des résultats plus intéressants si nous avions disposé, sur le chantier, d'un pluviomètre, et d'un appareil permettant de déterminer l'état d'humidité de l'air ambiant.

Il apparaît également, à l'examen de nos diagrammes, que trois essais ne peuvent pas suffire pour caractériser une gâchée à un âge déterminé : certains triangles représentatifs sont tellement allongés qu'il est totalement illusoire de s'attacher à la position de leur centre de gravité pour définir une « valeur moyenne ».

Avec quatre essais, la position de ce centre de gravité se « confirme » en quelque sorte. Mais ce n'est qu'à partir de huit essais (traversée indépendante centrale) que la représentation polygonale commence réellement à présenter un intérêt sérieux.

Nous verrons, tout à l'heure, qu'en réalité c'est à un nombre minimum de l'ordre de douze essais qu'il faut s'arrêter si nous voulons que l'échantillonnage correspondant commence à fournir des renseignements utilisables au sujet de la population mère dont l'échantillon est issu.

4<sup>o</sup> Il s'avère que les essais à la rupture tentés sur éprouvettes prismatiques et cubiques découpées dans des éléments de faux voile coulés dans l'ouvrage, conduisent à des résultats supérieurs d'environ 40 % aux résultats acquis sur éprouvettes moulées coulées à partir des mêmes gâchées.

Ce résultat peut, sans doute, s'expliquer par la plus grande facilité de mise en œuvre du béton dans les coffrages que dans le moule de l'éprouvette.

Nous pensons, d'une part, que les éprouvettes découpées représentent, mieux que les éprouvettes moulées, la qualité du « béton en place », et, d'autre part, que les résultats acquis sur éprouvettes moulées sous-estiment vraisemblablement la qualité du béton mis en œuvre dans l'ouvrage.

\* \* \*

Nous limitons ici, volontairement, l'examen des conclusions de nos essais, désirant dire encore quelques mots des possi-

bilités qui s'offrent à nous pour interpréter ces résultats du point de vue de la « qualité du béton à 90 jours ».

### III. — Indication concernant l'interprétation des résultats.

Dans tout ce qui précède, nous nous sommes borné à diverses réflexions d'ensemble sur le comportement général, sous la presse, de familles d'éprouvettes moulées et découpées. Il s'agit là de propriétés physiques indépendantes, en quelque sorte, de l'ouvrage lui-même.

Il nous faut, à présent, aller plus avant, et tenter le passage de l'échantillon à la « population-mère », c'est-à-dire, en termes moins rébarbatifs : de l'éprouvette à l'ouvrage.

Ce n'est, en effet, que lorsque nous aurons une idée de la qualité du béton en place dans l'ouvrage, que nous pourrons spéculer sur la probabilité de ruine de ce dernier, c'est-à-dire, sur la sécurité qu'il assure.

1<sup>o</sup> Nous remarquerons, tout d'abord, que cette « qualité » doit être définie par une propriété caractéristique mesurable de manière simple et économique. Pour le pont de Villeneuve-Saint-Georges nous avons choisi la résistance à la rupture par compression, parce que dans un ouvrage en béton préconstruit cette propriété joue un rôle important. Mais il va sans dire que d'autres critères de qualité auraient pu être choisis : notamment la résistance à la traction.

2<sup>o</sup> Un tel choix soulève aussitôt une difficulté : qu'est-ce au juste, que la « contrainte à la rupture d'un béton » ? En théorie, tous ceux qui ont étudié la Résistance des Matériaux, ont de cette notion une idée très précise, trop précise, même. En effet, expérimentalement, une telle notion se traduit par une courbe de répartition, définie approximativement par un nombre d'essais N, une moyenne arithmétique M et un écart quadratique moyen S. Cette représentation est difficilement conciliable avec la notion classique de taux de résistance de la matière.

3<sup>o</sup> D'ailleurs, l'échantillon de N éprouvettes qui a permis de tracer la courbe de répartition en question, n'est qu'une image très imparfaite de la « population mère », obtenue en supposant que l'élément d'ouvrage dans lequel il a été prélevé, pourrait être entièrement transformé en éprouvettes du même type que l'on essaierait ensuite à la rupture. Les caractéristiques M' et S' de la population mère, qui sont inconnues, et que nous appellerons **moyenne estimée** et **écart quadratique estimé**, ne sont pas égales aux valeurs expérimentales M et S.

Le problème a été posé, dans toute sa généralité, par M. Maurice Dumas, Ingénieur en Chef de l'Artillerie Navale.

On envisage un ensemble de valeurs réparties suivant une loi normale, dont la valeur centrale, inconnue, est M', et l'écart-type, inconnu, est S'.

On extrait, au hasard, de cet ensemble, un prélèvement de N valeurs, et on détermine expérimentalement leur valeur centrale M et leur écart-type S (ou écart quadratique moyen).

Quelle est la probabilité pour que M' soit compris entre M - KS et M + KS, l'écart-type S' étant lui-même, inférieur à K'S, K et K' étant deux nombres fixés à l'avance.

Si nous traduisons le problème qui précède en langage de chantier, nous devons dire ceci :

Si, pour éprouver un élément d'ouvrage, nous découpons dans l'ouvrage N éprouvettes d'essai, et que l'expérience fournit, pour cet échantillon, une valeur moyenne M et un écart-type S, la qualité du béton en place, représentée par la moyenne estimée M' et l'écart-type estimé S', n'est pas connue avec

exactitude, tout au plus pouvons-nous l'enrouler dans des « zones d'incertitude », relativement lâches :

$$M - KS < M' < M + KS \\ S' < K'S$$

$K$  et  $K'$  étant deux coefficients numériques fonctions de  $N$  et de la probabilité admise  $p$ .

**M. Marcel Prot**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées a eu la patience de constituer tout récemment des tables numériques donnant, pour diverses valeurs de  $N$  et de  $p$ , les valeurs correspondantes de  $K$  et de  $K'$ . Nous avons utilisé ces tables pour interpréter les résultats expérimentaux acquis sur éprouvettes découpées dans les éléments de faux-voiles coulés dans l'ouvrage.

Rappelons que trois éléments de faux-voile ont été préparés, et il a été tiré respectivement :

du premier élément : 12 éprouvettes 10/10/30 essayées à 90 jours ;  
du deuxième élément : 24 éprouvettes 10/10/30 essayées à 90 jours ;  
du troisième élément : 12 éprouvettes 15/15/15 essayées à 90 jours.

Le tableau suivant fournit les résultats de l'interprétation.

#### PONT DE VILLENEUVE-SAINT-GEORGES

Essais à 90 jours sur échantillons prismatiques  $10 \times 10 \times 30$  et cubiques  $15 \times 15 \times 15$

CALCUL DES MOYENNES ARITHMÉTIQUES ESTIMÉES  $M'$  ET DES ÉCARTS MOYENS QUADRATIQUES ESTIMÉS  $S'$  RELATIFS AU BÉTON EN PLACE DANS L'OUVRAGE

A. — Éprouvettes découpées dans des éléments de faux-voiles coulés dans l'ouvrage.

I. — Avec une probabilité  $p = 0,99$  :

Faux-voile n° 1. —  $N = 12$   $363 < M' < 492 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 129 \text{ kg/cm}^2$   
Faux-voile n° 2. —  $N = 24$   $450 < M' < 502 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 65 \text{ kg/cm}^2$   
Faux-voile n° 3. —  $N = 12$   $480 < M' < 602 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 122 \text{ kg/cm}^2$ .

II. — Avec une probabilité  $p = 0,999$  :

Faux-voile n° 1. —  $N = 12$   $337 < M' < 518 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 161 \text{ kg/cm}^2$   
Faux-voile n° 2. —  $N = 24$   $441 < M' < 511 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 78 \text{ kg/cm}^2$   
Faux-voile n° 3. —  $N = 12$   $456 < M' < 626 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 152 \text{ kg/cm}^2$ .

B. — Éprouvettes moulées en cours de bétonnage de la travée indépendante centrale.

Pour chacune des gâchées  $N = 8$ .

Avec une probabilité  $p = 0,999$  :

Gâchée n° 19  $M = 317$   $299 < M' < 335 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 36 \text{ kg/cm}^2$   
Gâchée n° 29  $M = 338$   $280 < M' < 396 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 116 \text{ kg/cm}^2$   
Gâchée n° 2 M = 379  $321 < M' < 437 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 116 \text{ kg/cm}^2$   
Gâchée n° 13 M = 389  $327 < M' < 451 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 124 \text{ kg/cm}^2$   
Gâchée n° 11 M = 317  $225 < M' < 409 \text{ kg/cm}^2$   $S' < 184 \text{ kg/cm}^2$

De ces trois échantillons, qui correspondent respectivement à des cubes totaux de béton mis en œuvre, égaux à 86 litres, 172 litres et 250 litres, celui qui est susceptible de donner les résultats les plus probants est celui qui est relatif au faux-voile n° 2 ; ces résultats sont les suivants (probabilité :  $p = 0,999$ )

$$441 < M' < 511 \text{ kg/cm}^2 \quad S' < 78 \text{ kg/cm}^2$$

Nous nous apercevons que la moyenne estimée que nous ne connaissons pas, est très probablement comprise à l'intérieur d'une « zone d'incertitude », répartie également de part

et d'autre de la moyenne expérimentale et représentant au total environ  $Z = 15\%$  de cette valeur moyenne expérimentale.

Quant à l'écart moyen quadratique estimé, il peut atteindre 1,8 fois la valeur expérimentale trouvée pour l'écart moyen quadratique.

Il n'y a que 999 chances sur 1 000 pour que ces indications correspondent à la réalité. Cela doit, naturellement, nous inciter à la prudence en matière d'interprétation des résultats.

A noter, toutefois, que l'unique condition de qualité insérée au Cahier des charges de l'Entreprise était la suivante : la résistance à la compression du béton, devrait être au moins égale à  $360 \text{ kg/cm}^2$  ( $100/28$  de  $100 \text{ kg/cm}^2$ ). Cette condition est certainement remplie.

Nous pouvons chercher à aller plus loin encore dans l'interprétation.

C'est ainsi qu'à partir des résultats qui précédent, nous avons essayé de nous rendre compte, très grossièrement, de la sécurité garantie par la mise en œuvre du béton dont la qualité a été définie par 24 éprouvettes découpées, en provenance du faux-voile n° 2.

$$441 < M' < 511 \text{ kg/cm}^2 \quad S' < 78 \text{ kg/cm}^2$$

Plaçons nous dans l'hypothèse la plus défavorable : dans 999 cas sur 1 000, cette hypothèse pessimiste est la suivante :

$$M' = 441 \text{ kg/cm}^2 \quad S' = 78 \text{ kg/cm}^2$$

Nous constatons que la valeur critique

$$R = 100 \text{ kg/cm}^2$$

du taux maximum de compression admis pour le béton dans la note de calculs, s'écarte de la moyenne estimée de 4,25 fois l'écart quadratique estimé.

Si, donc, nous assimilons la loi de répartition relative à la population mère, à une loi de Gauss, nous constatons que la probabilité qu'il se rencontre une valeur de la résistance à la compression du béton en place, inférieure à  $100 \text{ kg/cm}^2$ , est excessivement faible.

Cette constatation, peu rigoureuse, il est vrai, est, cependant, rassurante.

4° En fait, la méthode d'interprétation proposée ci-dessus n'est valable que si nous découpons des éprouvettes dans l'ouvrage. Cette manière de faire, qui conduit à des résultats particulièrement intéressants n'est, cependant, pas courante sur les chantiers, où l'on se contente, en général, de prélever quelques éprouvettes moulées en cours de bétonnage.

Nous voudrions insister quelque peu sur les précautions complémentaires à prendre, en pareil cas, sur le plan de l'interprétation.

En effet, entre l'éprouvette et l'ouvrage, il y a alors un troisième élément présentant une individualité propre : la gâchée.

Il nous faudra d'abord fabriquer un nombre d'éprouvettes suffisant issues d'une même gâchée, pour être en mesure de porter une appréciation sur la qualité de la gâchée. Ce n'est qu'ensuite que nous pourrons porter un jugement sur le béton de l'ouvrage, en le considérant, non pas comme un ensemble d'éprouvettes, mais, comme un ensemble de gâchées, dont nous aurons éprouvé un petit nombre.

En quelque sorte, il y a deux échantillonages successifs et le problème général étudié par MM. Maurice Dumas et Marcel Prot doit être résolu deux fois.

Nous avons repris les calculs qui précèdent sur chacune des 29 séries de huit échantillons prismatiques moulés lors du bétonnage de la travée indépendante centrale, et rompus à 90 jours.

Il résulte de nos calculs que nous pouvons situer la moyenne estimée  $M'$  relative à chacune des gâchées, dans une « zone d'incertitude », répartie de part et d'autre de la valeur expérimentale  $M$ , et égale à  $Z = 32\%$  de cette valeur en moyenne. Pour certaines gâchées, cette zone s'étend à 58 % de  $M$ . Elle s'abaisse, au minimum, à 11 %.

Le tableau ci-dessus donne les résultats obtenus sur quelques gâchées, pour une probabilité de 0,999.

Il résulte clairement de l'examen de ce tableau que même huit essais par gâchée ne suffisent pas à se faire de la qualité de la gâchée, une idée assez précise pour permettre de passer ensuite de la gâchée à l'ouvrage. Les zones d'incertitude sont trop étalées ; graphiquement, les calculs se traduisent sur les diagrammes présentés tout à l'heure, par une zone hachurée, plus ou moins large, et qui suit les oscillations de la courbe moyenne, en demeurant limitée par deux lignes marginales (fig. 9).

Il faudrait 12 voire 24 essais par gâchée, pour que nous puissions réduire les marges d'incertitude, et poursuivre notre analyse.

### Conclusions.

Nous limiterons là nos commentaires, non pas que le sujet soit épuisé (car ce qui précède ne fait qu'introduire le problème, beaucoup plus passionnant encore, de la sécurité des ouvrages), mais le temps dont nous disposons est très court.

Je voudrais, en guise de conclusion, souligner une vérité que, jeune ingénieur, j'ai découverte sur le chantier de Villeneuve-Saint-Georges : il est assez simple de faire des essais de contrôle, il est difficile et coûteux de les faire correctement ; enfin, il est très hasardeux de les interpréter. Je crois même devoir dire qu'il est dangereux de faire état de certains résultats acquis lorsque les prélèvements sont trop peu nombreux, ou exécutés sans prendre des précautions draconiennes.

Il ne faut donc pas s'illusionner sur la précision des résultats expérimentaux : nous devons, en effet, tenir compte de ce que nous avons appelé les « zones d'incertitude », et les essais faits à Villeneuve-Saint-Georges ont fourni à cet égard des ordres de grandeur qui incitent à la prudence.

Les opérations de contrôle de la qualité du béton sur les chantiers, supportent mal l'imperfection de nos méthodes ; tout notre effort doit donc tendre à améliorer et rationnaliser nos processus expérimentaux, de manière à réduire au minimum, la part de dispersion imputable à d'autres causes que l'hétérogénéité du matériau.

A ce point de vue, différentes mesures sont susceptibles, à notre avis, d'améliorer la technique des essais :

a) Insertion, dans le bordereau de prix du marché passé avec l'Entreprise, d'un prix spécial d'essai, par éprouvette rompue.

b) Mise au point d'une prime de qualité du béton, attribuée à l'Entreprise en fonction des résultats acquis lors des essais sur éprouvettes.

c) Fixation, dans le contrat, du nombre d'éprouvettes à réaliser par gâchée, et du nombre de gâchées à éprouver par élément d'ouvrage.

Le marché de reconstruction du pont de Villeneuve-Saint-Georges comportait une clause tendant à attribuer une prime de qualité du béton à l'Entreprise. Il est à peine utile de souligner l'intérêt d'une telle mesure sur le plan psychologique.

Enfin, l'ingénieur doit avoir sans cesse à l'esprit le problème de l'échantillonnage.

Il est presque inutile de faire des prélèvements de trois éprouvettes ; ces échantillons ne renseignent même pas sur la qualité de la gâchée, encore moins sur celle du béton de l'ouvrage ; les effectifs de 8, 12 ou 24 échantillons proposés peuvent effrayer certains, mais le surcroît de dépense et de peine est largement compensé par la sûreté d'interprétation, sûreté qui, en définitive, devrait permettre un jour, parce que nous connaîtrons véritablement mieux la qualité du béton mis en œuvre, de réduire le dimensionnement des ouvrages et de réaliser, ainsi, des économies substantielles.

**Le Président.** — Je remercie **M. Michel Bonnet** pour son exposé dont vous avez certainement saisi tout l'intérêt et je vais donner maintenant la parole à **M. Thomas**, Sous-Directeur des Établissements Fourré et Rhodes, qui va vous dire quelques mots de certains problèmes de chantier avant de présenter le film qu'il a pris et que, je crois, vous appréciez car **M. Thomas** s'est révélé, en même temps qu'un très bon entrepreneur, un cinéaste distingué.

## EXPOSÉ DE M. LUCIEN THOMAS

Dans la construction d'un ouvrage, même lorsqu'il s'agit d'un ouvrage classique, il se pose toujours un certain nombre de problèmes d'exécution inhérents à l'ouvrage lui-même d'une part, aux conditions qui résultent de sa situation et des obligations imposées par des services extérieurs (la Navigation, par exemple) d'autre part.

On comprendra sans peine que lorsque, comme c'est le cas ici, l'ouvrage est un pont de dimensions importantes et d'un type nouveau, le nombre des questions à résoudre en ait été accru.

Le film qui va passer sous vos yeux vous montrera suffisamment, je l'espère, comment ont été résolus un certain nombre de ces problèmes, et, en particulier, comment nous nous y sommes pris pour réaliser un béton donnant d'une façon régulière les résistances assez élevées nécessitées par le taux de travail de 100 kg/cm<sup>2</sup> qui a été en pris compte dans les calculs.

Il vous montrera également comment a été résolue l'obligation de réserver de larges passes à la Navigation pendant toute la construction de l'ouvrage sans en grever le prix des charges inhérentes à un cintre trop coûteux.

Ces problèmes ne sont d'ailleurs pas spécifiques du système de postcontrainte employé.

Je voudrais donc vous dire quelques mots des questions qui se sont posées à l'exécution, du fait de l'emploi de la post-contrainte.

Le pont est composé de trois éléments; ces trois éléments ont été construits successivement et séparément. La construction de chaque élément a été réalisée de la façon suivante :

- 1<sup>o</sup> Construction du cintre ou de l'échafaudage porteur;
- 2<sup>o</sup> Exécution de tout le béton armé des parties majeures de l'ouvrage (trottoirs exceptés);
- 3<sup>o</sup> Mise en place des balanciers et des câbles;
- 4<sup>o</sup> Enfin, mise en tension des câbles.

De ce qui précède, il résulte qu'au moment de la terminaison du béton armé d'un élément de l'ouvrage, cet élément n'avait aucune résistance propre du fait de l'absence des câbles destinés à absorber les efforts principaux. Il portait donc de tout son poids sur son cintre.

Il fallait, par conséquent, que ce cintre soit particulièrement résistant et particulièrement rigide, car tout fléchissement appréciable aurait provoqué inévitablement des cassures dans le béton armé de l'élément.

Nous avons donc pris des précautions tout à fait spéciales dans le calcul du cintre et dans sa réalisation. En particulier, les points d'assemblage des différents éléments de la charpente qui constituent les cintres des consoles-culasses ont été noyés dans des blocs de béton afin d'améliorer leur rigidité.

D'autre part, les programmes de coulage des consoles-culasses, en particulier, ont été établis de telle manière qu'une coupure était réservée de part et d'autre des piles aussi bien dans le voile d'intrados que dans les voiles verticaux et le tablier.

Ces coupures n'ont été coulées qu'après terminaison de tout le reste de l'élément, c'est-à-dire au moment où le cintre avait reçu pratiquement toute sa charge.

Je vais examiner maintenant les opérations qui se sont déroulées à partir de la mise en place des câbles d'une console-culasse.

Lorsque le pont est en service, la charge en about d'une console a pour valeur :

$$P = 489 \text{ t.}$$

Avant d'atteindre ce chiffre la charge passe par un certain nombre de valeurs intermédiaires qui résultent de l'avancement des travaux de construction de la travée indépendante.

La mise en tension progressive des câbles d'une console-culasse devait donc être réglée pour éviter, au cours des divers états de charges intermédiaires de l'about de la console, la création d'efforts anormaux dans le béton des voiles longitudinaux et des voiles d'intrados et d'extrados.

Les conditions posées par le calcul étaient que le béton des voiles d'intrados et d'extrados devait, à tout moment, subir une compression au moins égale à 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Enfin, le taux de cisaillement dans le béton devait à tout moment et en tout point rester inférieur à 20 kg/cm<sup>2</sup>.

Ces conditions ont été traduites par les deux courbes portées sur le diagramme que vous pouvez voir où figurent, en abscisse, les valeurs des tensions successives des câbles, et en ordonnée, les charges aux abouts de la console (fig. 11).

Ces deux courbes correspondent l'une aux charges maximales, l'autre aux charges minimes permises à l'about de la console pour une tension déterminée des câbles.

Pour satisfaire aux conditions posées, il fallait donc qu'à chaque instant le point du diagramme figurant l'état de tension pour une charge déterminée sur l'about de la console se trouve dans la région comprise entre ces deux courbes.

Ces conditions ont été fixées par l'Administration après une étude commune avec M. Henry Lossier.

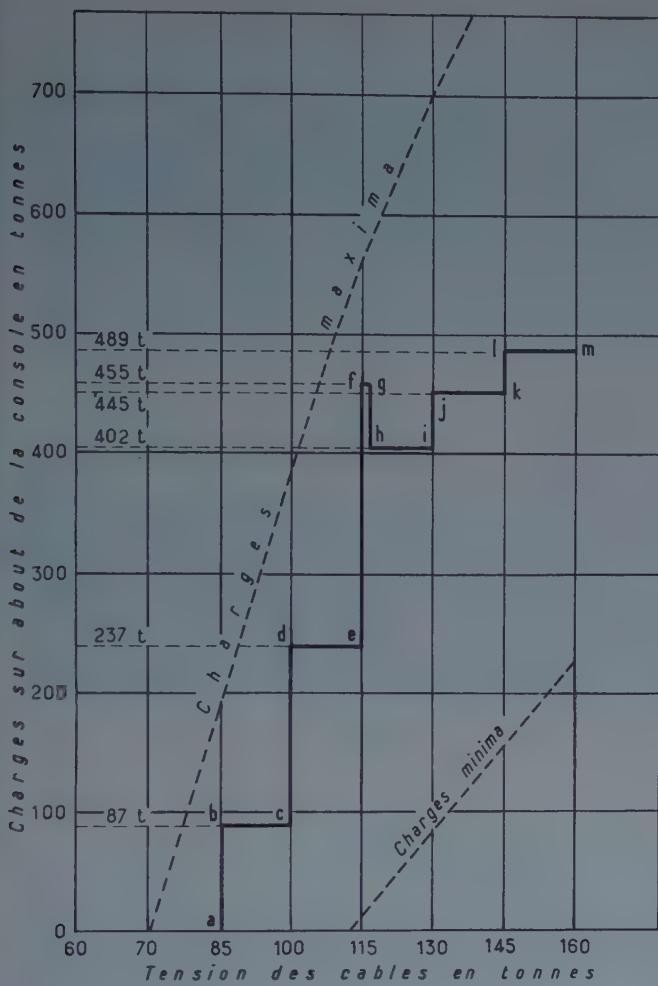
Une fois les câbles mis en place dans l'ouvrage, il a été procédé à une première étape de mise en tension pour la porter à 10 t. Cette mise en tension préalable avait pour but simplement d'assurer une véritable mise en place des câbles.

A partir de ce premier état, il a été décidé de procéder par étapes successives de tension de 15 t jusqu'à la tension finale qui est de 160 t par câble.

Les mises en tension ont été réalisées en prenant simultanément dans chaque étape les câbles deux par deux, les câbles de chaque paire étant symétriques par rapport à l'axe longitudinal de la console-culasse.

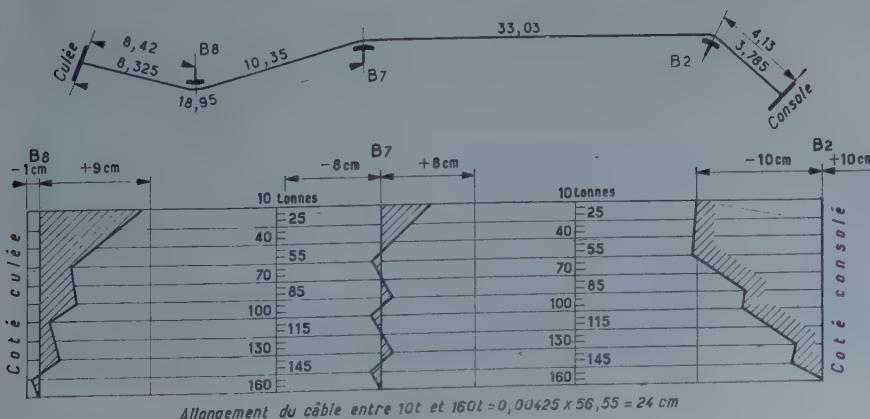
L'ordre dans lequel les paires de câbles devaient être tenues avait été déterminé préalablement afin d'éviter toute contrainte anormale dans les voiles transversaux.

Il est à noter que c'est au cours des mises en tension des câbles que s'est réalisé le décintrement de la partie en console, la culasse ayant été laissée sur cintre jusqu'à la terminaison de l'ouvrage.



a-b Coffrage et ferrailage de la travée indépendante;  
 b-c Tension des câbles portée de 85 à 100 t;  
 c-d Coulage de la travée indépendante (hormis trottoir);  
 e-f Décintrement de la travée indépendante (poutres métalliques en place);  
 g-h Enlèvement des poutres métalliques;  
 i-j Coulage des trottoirs de la travée indépendante;  
 k-l Exécution de la chaussée et des revêtements;  
 m Ouvrage terminé.

FIG. 11. — Console. Culasse. Programme de mise en tension des câbles.



NOTA. — L'allongement des câbles entre 10 t et 160 t est égal à 4,25 % (d'après les mesures relevées au cours des épreuves de prétension à 200 t au banc d'essai). Les déplacements des balanciers sont affectés du signe + vers la console, du signe — vers la culée.

FIG. 12. — Câble n° 4. — Diagramme de mise en tension.

Etant donné ce que j'ai dit plus haut, les étapes de mise en tension étaient franchies au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur le tablier central de façon que l'on reste constamment à l'intérieur des limites tracées par les deux courbes (fig. 13).

Le programme de mise en tension s'est réalisé point par point aussi bien pour les consoles-culasses que pour le tablier central.

En ce qui concerne les câbles proprement dits, vous verrez dans le film qu'une mise en tension préalable réalisée sur le banc d'essai construit sur le chantier avait fait ressortir qu'entre les tensions de 10 et 160 t, l'allongement des câbles était de 4,25 %.

Cet allongement posait des problèmes en ce qui concerne les déplacements des balanciers provoqués par les mises en tension successives.

Je vais examiner le cas le plus complexe, celui d'un câble passant sur trois balanciers (câble n° 4) et dont la longueur est de 56,55 m.

La position schématique de ce câble est figurée sur le croquis que vous voyez (fig. 12).

Les conditions à respecter étaient les suivantes :

1<sup>o</sup> Pendant toutes les opérations, les balanciers devaient rester à l'intérieur des limites d'inclinaison qu'imposait leur stabilité. Ces limites étaient assez faibles comme nous le verrons plus loin.

2<sup>o</sup> Lorsque la tension de 160 t était atteinte, il était nécessaire que les axes des balanciers soient dirigés suivant les bissectrices des angles formés par les directions du câble de part et d'autre de chacun d'eux.

Ces conditions, liées à l'allongement total du câble considéré entre 10 et 160 t, soit 24 cm, ont nécessité pour ce câble comme pour tous les câbles de l'ouvrage la recherche et l'établissement de diagrammes de mises en tension qui ont été dressés par M. Marcel Bonnet, Ingénieur E. C. P. qui a conduit les travaux.

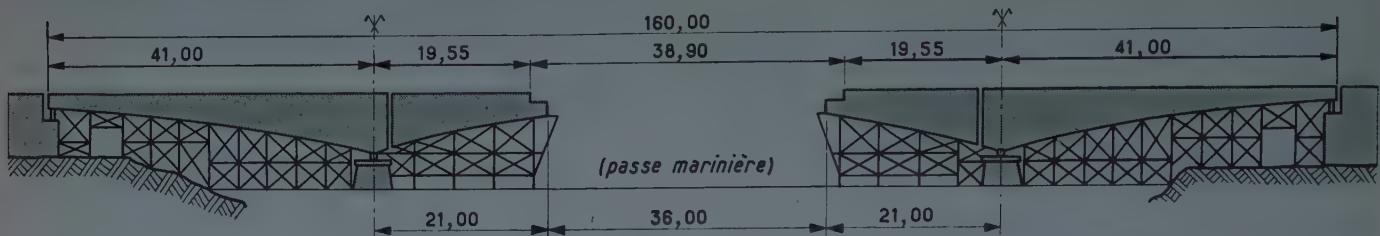
Le diagramme relatif au câble n° 4 porte :

— En ordonnées, les tensions successives du câble et en abscisses, de part et d'autre de la position finale de chaque balancier figurée par une droite verticale, les limites de débattement de chacun de ces balanciers.

Ces limites sont les suivantes :

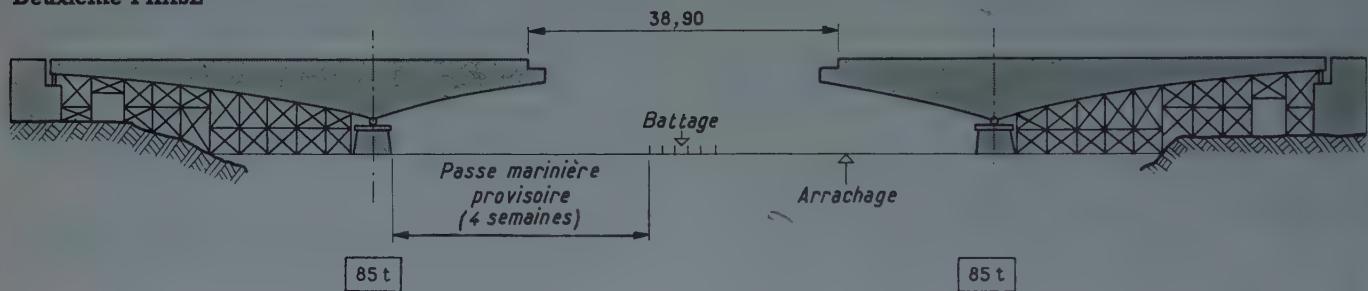
Balancier n° 8, côté culée 1 cm,  
 côté console 9 cm;  
 Balancier n° 7, 8 cm de chaque côté;  
 Balancier n° 2, 10 cm de chaque côté.

#### Première PHASE



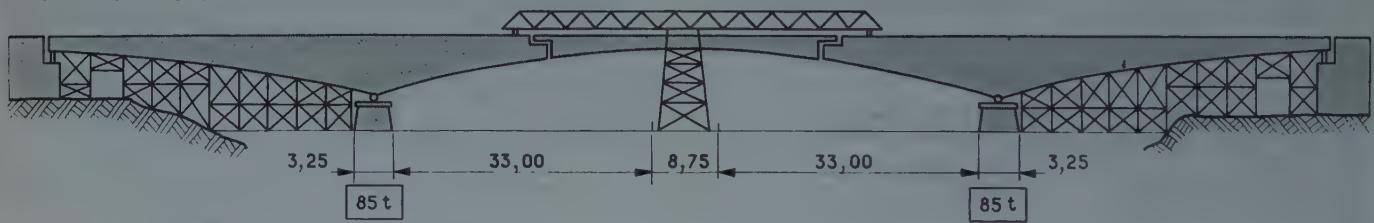
Battage des pieux et échafaudages des consoles-culasses. Coffrage. Ferraillage. Coulage du béton des deux consoles-culasses en ménageant un joint de 0,75 à 0,50 m de l'axe des piles, exécuté en dernier lieu. Mise en place des câbles et tension des câbles jusqu'à 85 t.

#### Deuxième PHASE



Enlèvement des échafaudages et des pieux sous consoles.  
Battage des pieux de la passe marinière.

#### Troisième PHASE



Tension des câbles des consoles-culasses égale à 85 t pendant le coffrage et le ferraillage de la travée indépendante.  
Tension portée à 100 t avant le coulage de la travée indépendante.

#### Quatrième PHASE

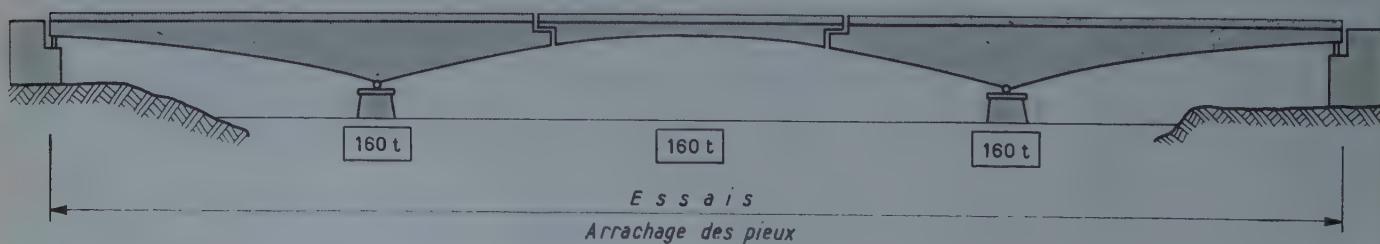


FIG. 13.



FIG. 14.



FIG. 15.



FIG. 16.



FIG. 17.

FIG. 14. — Vue prise d'amont rive gauche.

De gauche à droite : La culée rive gauche terminée. La console-culasse rive gauche : cintre terminé, coffrages et ferraillages en cours. La console culasse rive droite : battage des pieux porteurs du cintre terminé. Moisage presque terminé. Palées d'échafaudage en cours de montage. Sommier sur pile rive droite ferraillé.

FIG. 15. — Vue prise d'amont rive gauche au cours de l'exécution des deux consoles-culasses.

FIG. 16. — Ensemble amont vu de la rive gauche.

FIG. 17. — On peut remarquer :

1<sup>o</sup> Au centre, le massif de pieux (30 pieux entourés de 80 pieux de protection) destiné à recevoir la palée marinière que l'on voit sur la berge à gauche de la photo.

2<sup>o</sup> En haut et au centre, l'extrémité de la console-culasse rive gauche.

FIG. 18. — Transport de la palée marinière depuis la berge. Arrivée sur le massif de pieux.

On peut remarquer sur les abouts des consoles, les poutres en treillis métalliques qui, prenant appui sur ces dernières et sur la palée marinière centrale, supporteront le poids du cintre de la travée indépendante.

FIG. 19. — Les parties majeures de l'ouvrage sont terminées. Les trottoirs sont coulés au moyen des deux échafaudages mobiles que l'on voit sur la photo.



FIG. 18.



FIG. 19.



FIG. 20.

FIG. 20. — Ferraillage de l'ancrage des câbles à un nœud d'intrados (maquette « grandeur »).

FIG. 21. — Dispositif de tension des câbles. Quatre pièces de butée amovibles, tenues par les contre-écrous et quatre vérins de 50 t (actionnées par le même groupe) entre culot et pièces de butée.

FIG. 22. — Balancier en acier moulé du câble I2 B au droit du voile 8. A gauche, une tige scellée dans le béton permet de contrôler le mouvement du balancier.

FIG. 23. — Vue des câbles à leurs extrémités près d'un voile d'ancrage.

FIG. 24. — Vue de deux câbles s'appuyant sur les balanciers en béton armé.

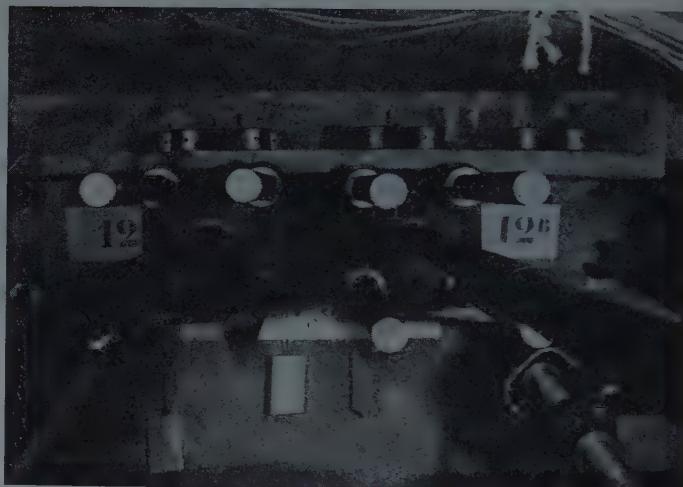


FIG. 23.



FIG. 21.



FIG. 22.



FIG. 24.

Ces valeurs sont relatives au déplacement maximum admissible de la tête du balancier considéré.

Les diagrammes ont été construits en partant de la position finale, c'est-à-dire de la position que devaient occuper les balanciers sous la tension de 160 t.

Les droites inclinées figurent le déplacement de la tête du balancier de part et d'autre de son axe pour une différence de tension de 15 t.

On comprend sans peine que pour le balancier n° 8 lorsqu'une tension de 15 t était appliquée dans le sens allant vers la culée, la tête de ce balancier se déplaçait d'une quantité égale à l'allongement de la partie du câble comprise entre ce balancier et la console.

Inversement, si l'on considère le balancier n° 2, chaque fois qu'une traction de 15 t était appliquée côté console, la tête de ce balancier se déplaçait d'une quantité égale à l'allongement de la partie du câble comprise entre ce balancier n° 2 et la culée.

Une fois ce diagramme établi, on connaissait d'une part, les positions initiales à donner aux balanciers au moment où la première tension de 10 t était réalisée et, d'autre part, le sens dans lequel on devait tirer sur les câbles pour réaliser chacune des mises en tension successives.

C'est ainsi que sous 10 t la tête du balancier n° 8 devait être à 8,4 cm côté console par rapport à sa position finale, celle du balancier n° 7 à 3,8 cm côté console également. Par contre, la tête du balancier n° 2 devait être à 10,2 cm côté culasse.

On voit également que pour les trois premières étapes de

15 t, les vérins ont été mis à l'accrochage côté culée, que pour les quatrième et cinquième mises en tension, les vérins ont été appliqués côté console, pour la sixième étape on a de nouveau tiré côté culée, pour les septième et huitième : côté console, pour la neuvième étape de nouveau côté culée et pour l'étape finale entre 145 et 160 t, les vérins ont été appliqués à l'extrémité du câble, côté console.

Naturellement, les déplacements réels des câbles étaient reportés sur chaque diagramme au fur et à mesure des mises en tension.

De légères différences se sont révélées au début entre la position théorique des balanciers et celle qui était effectivement réalisée.

Ces différences étaient dues, dans la plupart des cas, aux imprécisions des manomètres des vérins, mais l'importance relative de ces imprécisions a diminué très nettement au fur et à mesure que la tension s'élevait.

D'autre part, les mises en tension finales ont été réalisées avec une balance Lepetit qui a donné toute la précision désirable.

Ce n'est pas un des moindres avantages du système de post-contrainte que de nous avoir permis à chaque instant, pendant les mises en tension, de contrôler, comme le film vous le montrera, les tensions réelles des câbles, de déceler et de rectifier immédiatement, si besoin était, les erreurs qu'aurait pu commettre le chantier qui a ainsi réalisé toutes ces opérations avec une absolue sécurité.

Je ne veux pas retarder plus longtemps la projection du film. J'espère qu'il complètera heureusement les exposés qui viennent d'être faits.



FIG. 25. — Vue de la rive droite côté amont.

## DISCUSSION

**Le Président.** — Je crois qu'il est d'usage, après les conférences, d'ouvrir une discussion sur le sujet traité.

Si donc, malgré l'heure tardive, quelqu'un désire prendre la parole, je me ferai un plaisir de la lui donner, en laissant, aux conférenciers le soin de répondre aux questions qui pourraient leur être posées.

**M. Caquot.** — Je voudrais en un mot remercier **M. Bonnet** de tous les détails qu'il a donnés dans son exposé.

Il est toutefois un point que je voudrais signaler : les essais de compression comportent des erreurs qui ne sont pas dues au béton seul mais également à la méthode d'essai.

Pour les cubes, la rupture ne peut pas se faire par compression simple mais par un système très complexe qui détermine nécessairement des plans découpant automatiquement deux pyramides. Il y a donc là une erreur systématique. Cette erreur systématique augmente la résistance apparente.

Par contre, il y a une autre erreur systématique en sens inverse, qui est l'effet de paroi. Tout se passe comme si les éprouvettes avaient moins de ciment que le corps de l'ouvrage puisque le rôle de la paroi est d'absorber une partie du ciment de la zone intérieure. L'éprouvette de compression cubique est, à mon avis, la plus médiocre à l'heure actuelle. L'éprouvette allongée n'a pas ce défaut puisque le plan de rupture peut passer au travers de l'éprouvette mais elle exige un centrage encore plus soigné. Les erreurs d'homogénéité ont peu d'importance dans l'ouvrage tandis que dans l'éprouvette prismatique au contraire, leur rôle est essentiel.

Il y a donc là des erreurs systématiques et des erreurs accidentelles qui sont dues au dispositif et non pas au béton et ces erreurs sont très importantes. C'est pourquoi je n'ai jamais réussi à obtenir des résultats fidèles qu'avec des éprouvettes de flexion qui donnent un écart probable plus faible et qui ont cet avantage considérable de renseigner sur la résistance à la traction. Or la résistance à la traction est telle que, toutes les fois qu'un béton a une résistance à la traction suffisante, il a une bonne résistance à la compression, mais la réciproque n'est pas vraie. La résistance à la compression est une chose nécessaire, tandis que la résistance à la traction est une chose nécessaire et suffisante.

Je vais vous citer deux cas : au barrage du Sautet nous avons éliminé des agrégats, au barrage de la Girotte des ciments, uniquement par l'essai de flexion, les essais de compression ayant donné le même renseignement beaucoup plus tard. Il est absolument nécessaire de faire les essais de flexion et je pense qu'il est inutile de faire, sur le chantier, les essais de compression.

**M. Marcel Prot.** — Je demanderais la permission de répondre à la place du conférencier.

Je crois, effectivement, que l'essai de traction renseigne d'une façon complète sur la qualité d'un béton et je serais, personnellement, tout à fait d'avis de le substituer à l'essai de compression. Il est exact que ce dernier a, parmi les causes de dispersion, des causes qui ne sont pas imputables au matériau mais à la technique de l'essai.

Avec les essais que **M. Michel Bonnet** a faits et qui sont intéressants parce qu'ils donnent des renseignements numériques, on peut, je crois, conclure que la dispersion courante, qui est

de l'ordre de 10 à 12 %, quelquefois davantage, comporte à peu près pour 4 à 5 %, une cause qui provient du matériau lui-même, alors que le supplément provient de la technique de l'essai.

J'avais suggéré à **M. Michel Bonnet** d'utiliser des éprouvettes cylindriques assez hautes, avec deux têtes métalliques en bas et en haut soudées au moulage de l'éprouvette, la tête supérieure ayant un petit téton de centrage ; ces têtes métalliques donnaient donc à la fois un bon centrage de la force de compression, et une bonne répartition de la contrainte ; ces éprouvettes ont donné, comme **Michel Bonnet** l'a dit tout à l'heure, moins de 5 % de dispersion.

On peut conclure qu'il n'y a plus que peu de choses imputables à l'essai et que les 5 % de dispersion obtenus sont imputables au matériau. Il y aura donc, quand on trouvera une dispersion de 15 %, 10 % imputables à la technique de l'essai.

En ce qui concerne les essais de flexion, il est exact qu'ils donnent, en général, moins de dispersion que les essais de compression, mais je crois qu'ils ont tout de même un défaut et qu'on peut leur adresser une critique : celle de ne pas correspondre à une contrainte homogène, à une contrainte uniforme et, quand on regarde de près le rapport par lequel il faut multiplier le résultat trouvé pour passer à la contrainte traction qui s'exerce théoriquement sur les fibres les plus fatiguées, on trouve là une incertitude qui est assez grande. Quel est le coefficient qu'il convient d'utiliser ? J'ai trouvé que, suivant les cas, ce coefficient, qui fait état d'un coefficient d'élasticité du matériau, varie de 0,3, quelquefois moins, à 0,6. Il y a tout de même au débit de l'essai de flexion, cette double critique qu'on peut lui adresser, à savoir que c'est un essai qui n'est pas en contrainte homogène et, d'autre part, que c'est un essai qui fait intervenir une caractéristique qui doit être liée au coefficient d'élasticité du matériau qui, lui, varie considérablement, notamment avec le temps.

**M. Caquot.** — Je voudrais ajouter un mot. Je suis tout à fait d'accord avec **M. Prot** sur tous ces points mais, quand il y a amélioration de la flexion par suite du phénomène plastique, c'est que le béton est meilleur et moins fragile.

Si nous reprenions le total de ce à quoi il faut arriver pour la sécurité par le calcul de probabilités général, nous verrions que la résistance à la flexion s'approche plus de la vérité technique que la résistance à la compression. Mais, en outre, il est un autre fait très important : c'est que, sur le chantier, un béton doit être classé bon ou mauvais dans un très court délai. Seule la résistance à la flexion vous renseigne rapidement, l'autre essai ne peut être qu'une confirmation. Je pense, avec **M. Prot**, que les essais de compression corrects donnent de bons résultats pour un tarage mais, pour un béton déterminé, à partir de ce tarage, les essais de chaque jour doivent être faits en flexion.

**Le Président.** — Je crois que les exposés complémentaires très intéressants qui viennent d'être faits montrent que le sujet n'est pas épuisé et qu'il y aurait probablement matière à une deuxième conférence fort intéressante également et pour laquelle je crois que nous avons déjà trouvé les conférenciers.

Si personne ne demande plus la parole, il me reste à vous remercier au nom des conférenciers d'aujourd'hui de l'attention que vous avez bien voulu leur apporter.

(Reproduction interdite.)

ÉDITÉ PAR LA DOCUMENTATION TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS, 28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII<sup>e</sup>.

SUPPLÉMENT AUX  
ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N°s 67-68.

Série : ESSAIS ET MESURES (XXV).

QUELQUES ASPECTS DE LA RECHERCHE  
SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS  
AUX ÉTATS-UNIS (I)

LA MÉCANIQUE DES SOLS

Par

**M. J. DELARUE,**

Ingénieur Civil de l'École Nationale des Ponts et Chaussées,  
Directeur du Laboratoire public d'essais  
et d'études à Casablanca.

**M. F. DERVIEUX,**

Ingénieur E. T. P.,  
Directeur du Laboratoire d'Études du sol et d'essais  
de matériaux à Alger.

SOMMAIRE

	Pages.
I. — Généralités .....	645
II. — Propriétés et caractéristiques physiques et chimiques des sols. Méthode d'identification et de classification.	646
III. — Propriétés des sols argileux .....	648
IV. — Stabilisation des sols. Stabilisation par éléments pré- fabriqués .....	649
V. — Portance des sols. Qualité contrôle.....	651
VI. — Consolidation physique des sols .....	652
VII. — Résistance au cisaillage des sols.....	654
VIII. — Le pompage des sols sous les chaussées en béton.....	655
IX. — Appareils divers imaginés récemment. Appareil pour prise d'échantillons en profondeur.....	656

LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Aux mois de mai et juin 1952, quelques ingénieurs français de recherche conduits par M. R. L'Hermite furent envoyés aux États-Unis par la Fédération Nationale du Bâtiment sous les auspices de l'Association Française de la Productivité. Ce voyage, sous la direction de MM. James H. Jarvis et Eugène A. Tilleux, dura six semaines au cours desquelles les laboratoires d'Instituts de recherches suivants furent visités :

#### NEW-YORK

Columbia University, New-York University, Housing Corporation, différents architectes et ingénieurs conseils.

#### ITHACA

Cornell University.

#### BUFFALO

National Gypsum Company.

#### SYRACUSE

Syracuse University,  
Syracuse Housing Authority.

#### BOSTON

Massachusetts Institute of Technology.  
Harvard University. Visites de constructions nouvelles.

#### PLAINFIELD

John Pierce Foundation.  
John Manville Company.

#### WASHINGTON

American Institute of Architects.  
National Academy of Sciences.  
National Research Council.  
Housing and Home Finance Agency.  
National Bureau of Standards.  
United States Department of Labor.

#### PHILADELPHIA

American Society for Testing Materials.  
Usines Baldwin et Olsen (machines d'essais).

#### LANCASTER

Armstrong Cork Company.

#### TOLEDO

University of Toledo. Owens Illinois Glass Co.

#### CHICAGO

Park Forest. United States Gypsum Co.  
Celotex Corporation. Illinois Institute of Technology. Armour Research Foundation. Structural Clay Product Research Foundation. Portland Cement Association.

#### MADISON

Forest Product Laboratory. University of Wisconsin.

#### CHAUPAIN

University of Illinois.

#### DENVER CITY

Laboratoires du Bureau de Réclamation.

#### COLOMBUS

Battelle Memorial Institute.  
Ohio State University.

Cet itinéraire a été complété pour deux d'entre nous par une visite au Canada : Ottawa, Montréal, Québec.

L'« Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics » a bien voulu publier dans ses « Annales », sous le titre général :

*Quelques aspects de la recherche sur les matériaux et les constructions aux Etats-Unis,*

les observations faites par les membres de la mission sur les problèmes de laboratoires qu'ils ont pu connaître dans des matières aussi diverses que la mécanique des sols, la plomberie, la charpente métallique, le béton armé, la chimie des ciments, les peintures, les plastiques, les machines d'essais, le chauffage et la ventilation. Cette publication fera l'objet de trois fascicules des « Annales » qui porteront les titres suivants :

- I. — MÉCANIQUE DES SOLS.
- II. — LIANTS HYDRAULIQUES, PRODUITS CÉRAMIQUES, VERRES, PEINTURES, MATÉRIAUX DIVERS.
- III. — CHAUFFAGE, VENTILATION, PLOMBERIE, MACHINES ET APPAREILS D'ESSAIS.

Les membres de la mission tiennent à remercier ici la « Fédération Nationale du Bâtiment » et l'« Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics » et s'offrent bien volontiers à mettre à la disposition de toute personne intéressée les documents qu'ils ont ramenés et qu'ils ont déposés à la bibliothèque des « Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics. »

#### RÉSUMÉ

Les recherches américaines sur la mécanique du sol apparaissent marquées par le souci de faciliter des applications rapides, quasi automatiques et systématiques. Les propriétés et caractéristiques physiques et chimiques des sols sont étudiées par des méthodes telles que celle de BURMISTER. Les propriétés des sols argileux ont fait l'objet des travaux de WINTERKORN et de TERZAGHI. La stabilisation des sols, très étudiée, a conduit à l'emploi de résines artificielles à l'aniline-furfural, d'acrylate de calcium. La portance des sols est contrôlée par des appareils nouveaux. La consolidation physique des sols est réalisée par l'électro-osmose et par la thermo-osmose. L'étude du cisaillement est faite d'une manière assez particulière. On étudie aussi de près le phénomène du « pumping ».

#### SUMMARY

The American research in the field of soil mechanics seems to be marked by the endeavour to facilitate rapid, quasi-automatic and systematic application. The physical and chemical characteristics and properties are investigated by methods such as BURMISTER's. The properties of clayey soils have been investigated by WINTERKORN and TERZAGHI. Soil stabilization has been thoroughly investigated and the use of synthetic resins, such as aniline-furfural and calcium acrylate, has been introduced. The bearing capacity of soils is controlled by new instruments. The physical consolidation of soils is effected by electro-osmosis and thermo-osmosis. The investigation of shear is conducted in a rather special manner. The phenomenon of "pumping" is also being closely investigated.

## I. — GÉNÉRALITÉS

Si, au départ de notre mission, nous avons pu avoir la pensée de faire le point des études et recherches en cours aux États-Unis, il nous est rapidement apparu que ce projet serait irréalisable.

En fait, les informations que nous avons recueillies ne peuvent, en aucune façon, refléter l'activité réelle des spécialistes de la mécanique du sol.

Nous avons visité quelques laboratoires administratifs, de nombreux centres d'études et de recherches, la plupart annexés aux Universités qui, dans ce pays, ont le monopole de la formation des cadres techniques, et jouent vis-à-vis de la profession de l'ingénieur, le rôle de nos grandes écoles spécialisées.

Nous y avons rencontré de hauts fonctionnaires, des professeurs universellement connus par leurs travaux, de nombreux assistants, la plupart diplômés ou préparant leur thèse, les uns et les autres utilisant des appareils de modèle courant, ou quelque peu modifiés en vue d'une étude spéciale.

Mais l'intransigeance d'un programme très minutieusement minuté, beaucoup trop chargé de visites et conférences d'intérêt mineur à notre point de vue, dont nous n'avons eu connaissance qu'à notre arrivée à New-York, ce qui rendait impossible tout changement d'orientation, les pertes de temps en transports presque uniquement par voie ferrée, sur de longues distances, nous ont contraints à ne jeter qu'un rapide coup d'œil aux appareils et installations, à n'avoir que de brefs entretiens, à abandonner tout espoir d'aborder le fond des problèmes ou de discuter de l'utilisation pratique de certains essais particuliers.

Bien qu'ayant maintes fois enfreint les règles les plus élémentaires de la discipline, ce dont nous nous excusons auprès des autorités responsables de la mission, et « séché » quelques « amphis » au bénéfice d'une visite improvisée d'un laboratoire, et que très courtoisement, leurs responsables déçus au moins autant que nous-mêmes des restrictions imposées, se soient efforcés de satisfaire notre curiosité en modifiant leur horaire professionnel, en nous invitant à les rencontrer en dehors de leur bureau, certains même consentant à nous sacrifier une partie de leur weekend, les renseignements et documents rapportés sont disparates.

Aussi, afin de compléter nos notes hâtives, avons-nous entrepris une analyse succincte des publications qui nous ont été remises par leurs auteurs.

On trouvera ci-après la liste des références. Les originaux ou les exemplaires microfilmés ont été déposés à notre bibliothèque. On pourra les y consulter ou en demander des tirages ou extraits.

\* \* \*

De l'étude que nous avons faite pour la rédaction de ce rapport et des quelques points particuliers abordés au cours de nos entretiens, nous croyons devoir dégager quelques idées qui, sans prétendre à définir une tendance absolue valable en toute occasion, marquent l'opinion personnelle que nous avons retirée de nos contacts avec quelques personnalités dirigeantes de la recherche aux États-Unis, et revêtent à nos yeux une certaine importance pour la conduite et l'interprétation des essais de cette science de la mécanique des sols encore riche d'inconnues.

Les recherches exécutées dans les centres que nous avons visités, apparaissent manifestement marquées par le souci constant de faciliter des applications rapides, quasi automatiques et systématiques, des connaissances théoriques déjà acquises ou admises provisoirement, comme bases de la mécanique du sol. (Travaux de Burmister, méthode d'identification des sols, appareil de détermination de la capacité portante de certains sols par enfouissement d'une sorte de fusée, appareil de mesure de la densité et de la teneur en eau des sols par isotopes radioactifs.)

Parmi ces recherches, très nombreuses sont celles qui, engagées dès le début de la dernière guerre, se poursuivent encore, encouragées et financées dans le but d'apporter des solutions aux problèmes de défense ou d'occupation de territoires nationaux

ou étrangers, quelles que soient les difficultés auxquelles on puisse s'attendre du fait de l'éloignement des centres de fabrication ou des particularités de constitution du sol (Stabilisation par procédés chimiques, fabrication d'agrégats).

Chaque centre de recherches et pour ainsi dire, chaque professeur ou assistant, est doté d'un objectif précis en dehors duquel il semble ne pas rechercher l'examen de problèmes connexes, soit qu'il n'ait pas le loisir de les étudier, soit que la région sur laquelle il opère ne présente pas les particularités qui l'obligerait à s'y intéresser.

Spécialisation extrême que nous avons quelque peine à comprendre, rendue possible grâce à une armature puissante, un luxe de personnel qualifié et de moyens, heureusement réunis et également répartis sur l'ensemble d'un territoire, lui-même d'aspects très divers, et la dispersion des centres de recherches (chaque état possédant son Université et quelquefois plusieurs), enfin, grâce à l'importance des crédits mis à la disposition des chercheurs, tant au point de vue strictement administratif qu'industriel.

A quel échelon s'opère la liaison ? de quelle autorité émane le pouvoir d'organiser ou de réunir des données ? L'industrie y pourvoit judicieusement, les organismes administratifs semblent beaucoup moins apparents. Mais, en dehors des secrets inhérents à tout système de recherches, l'Américain dispose de nombreuses possibilités d'enregistrer son action personnelle, de vérifier son point de vue, d'accroître ses connaissances.

De larges discussions entre gens de métier permettent à chacun d'exposer ses idées et d'améliorer ses méthodes. Ouvrir un dossier n'est pas un abandon d'autorité ou de puissance, mais un moyen de les accroître.

Si l'on ajoute que l'originalité des conceptions se trouve accrue par la diversité des origines et de la formation des individus, et l'apport des connaissances acquises à l'étranger; on concevra que l'Américain puisse opérer facilement en dehors des sentiers rebattus et, grâce à cela, résoudre certains problèmes sans idées préconçues.

L'expérience est pour lui un dogme, l'explication mathématique un simple moyen d'expression, auquel il pourra consentir à posteriori, mais généralement sans y attacher une importance décisive.

La mécanique du sol est loin encore d'atteindre à la pureté doctrinale qui en fera peut-être une science réelle susceptible d'expliquer la plupart des phénomènes. Trop d'inconnues subsistent que la rigueur mathématique ne peut faire apparaître.

Plutôt qu'une cristallisation à l'abri de théories d'applications exagérément limitées, il faut rechercher toutes les causes qui obligent à ne la considérer encore à maints points de vue, que comme une expression de faits, dont on s'efforcera toujours de déterminer les possibilités de variation dans le cas précis que l'on s'attache à résoudre.

A ce point de vue, le caractère purement physique ou mécanique peut s'estomper devant la nature du minéral de base qui constitue le sol, sa composition chimique, la forme et la texture imposée par son origine, les associations ou dissociations qui ont pu s'opérer au cours de son histoire géologique, les transformations que lui ont fait subir les phénomènes de la nature, et qui peuvent encore se poursuivre de nos jours, ou provenir d'arrangements nouveaux résultant de son utilisation, les actions de l'eau ou de l'air et de l'eau capables de dissocier, altérer ou remanier entièrement une structure ou des associations apparemment stables, mais très souvent temporairement équilibrées : autant de causes de désaccord partiel ou total avec les hypothèses nécessairement simplifiées qui régissent les calculs mathématiques.

L'aspect purement mécanique des réactions du sol à un moment de son histoire, ne semble pas devoir revêtir la même importance quel que soit le minéral de base ou tout au moins prétendre à expliquer l'ensemble des phénomènes que l'on observe.

Une liaison intime entre le géologue, le pédologue, le chimiste, le physicien et le mécanicien du sol est indispensable, l'universalité des connaissances acquises ne pouvant être réunie par un seul.

Cette liaison nécessaire est surtout apparente dans le domaine de la stabilisation des sols, dans l'explication des phénomènes qui se sont manifestés au cours de certaines tentatives de constructions en terre ou de revêtements destinés à améliorer la capacité portante de terrains normalement compressibles.

L'apparition de produits utilisés pour la stabilisation, l'introduction de matières inertes ou réactives, conduisent naturellement à aborder le problème de structure du minéral, ses possibilités d'évolution et de transformation par actions purement chimiques, les interréactions consécutives des différentes phases solide, liquide, gaz en présence et nullement dissociables.

Leurs conséquences vis-à-vis de la cohésion apparente après utilisation sous divers climats, certains désordres retentissants observés, mettent en relief l'influence des variations de température à l'intérieur du sol, l'insuffisance de nos connaissances sur les causes de transformation physico-chimique des éléments. La matière de base n'est pas assimilable à un corps neutre, c'est une association de solide, de liquide et de gaz soumise à des

actions intra-moléculaires reversibles ou non, possédant parfois un potentiel d'énergie accumulée libérable ou non. C'est un complexe instable.

Si un sol accuse un certain retrait par perte d'eau ou manifeste un gonflement lorsque les conditions extérieures varient mécaniquement, on enregistre un changement de capacité portante, mais l'aspect que revêtira le phénomène dans l'avenir lorsque cesseront ou se modifieront les conditions extérieures, devient difficilement prévisible. Pourquoi tel minéral, plutôt que tel autre ou une association de l'un et de l'autre présente-t-il des réactions différentes vis-à-vis des mêmes agents ou efforts extérieurs ? Ceci n'est pas encore traduisible par des lois simples.

Comment prévoir ces réactions ou tenter de les freiner ou de s'y opposer de manière à éviter les désordres ? Il ne semble encore possible d'y parvenir qu'en développant l'expérience pour intéresser tous les paramètres apparents et tenter de reproduire le phénomène dans ses divers aspects. S'attacher à relier ceux-ci au minéral de base, à son passé géologique, à son comportement sous différentes associations de ses constituants dans leur nature et leurs attaches, pourra peut-être permettre de dresser une théorie mieux adaptée que celle qui consiste à assimiler un tel complexe à un corps simple se comportant comme un solide, parfaitement homogène et isotrope.

## II. — PROPRIÉTÉS ET CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS

### Méthodes d'identification et de classification.

Les rapides développements de la mécanique des sols, en particulier dans le domaine de ses applications routières, ont rendu nécessaire une simplification des critères de caractérisation, une classification de leurs propriétés, afin de faciliter l'établissement des projets, la prévision du comportement du sol, vis-à-vis des effets auxquels ils se trouvent soumis.

Depuis plusieurs années, on assiste à une éclosion de systèmes, la plupart d'origine américaine, portant chacun l'empreinte d'une destination à un type particulier d'ouvrage.

Cette tendance à rationaliser l'étude des propriétés du sol et l'interprétation des essais s'accroît encore présentement en Amérique, sous la pression des événements.

On considère qu'il importe de ramener à quelques tests simples la détermination des caractéristiques essentielles, grâce auxquelles l'homme de chantier pourra tirer des conclusions et dresser un projet d'exécution sans le secours ou en l'absence d'un laboratoire parfaitement équipé, ou rendre compte de ses observations, celles-ci présentées avec le maximum de concision, permettront ultérieurement de poursuivre les essais s'il en est besoin et de compléter ainsi les éléments recueillis à pied d'œuvre.

La discipline imposée à la présentation des données et à leur expression évitera toute erreur d'interprétation.

Dans cet esprit, la méthode d'« identification », imaginée par le professeur Donald M. BURMISTER de l'Université de Colombie (N.Y.) est à la fois, une critique des systèmes jusqu'alors préconisés et une tentative d'universalisation du langage utilisé dans la nomenclature des caractéristiques propres à définir les propriétés d'un sol.

Le professeur BURMISTER s'élève contre les principes de la « classification » qui, selon lui, aboutit à la disparition du caractère propre du sol, de son « identité spécifique ». Celle-ci se

trouve atrophiée par les limites du groupe de classement. Les caractéristiques intrinsèques s'effacent et tendent même à disparaître entièrement en faveur de celles imprécises du groupe auquel il se trouve rattaché ; les variations possibles des caractéristiques à l'intérieur de ce groupe sont trop importantes pour que la « classification » ait une signification réelle vis-à-vis d'un problème particulier.

La « classification » est « cristallisante ». Ses formes restrictives définitivement arrêtées sont un obstacle au développement de la science.

Le professeur BURMISTER propose de définir la nature et les caractéristiques essentielles du sol, par des moyens expérimentaux

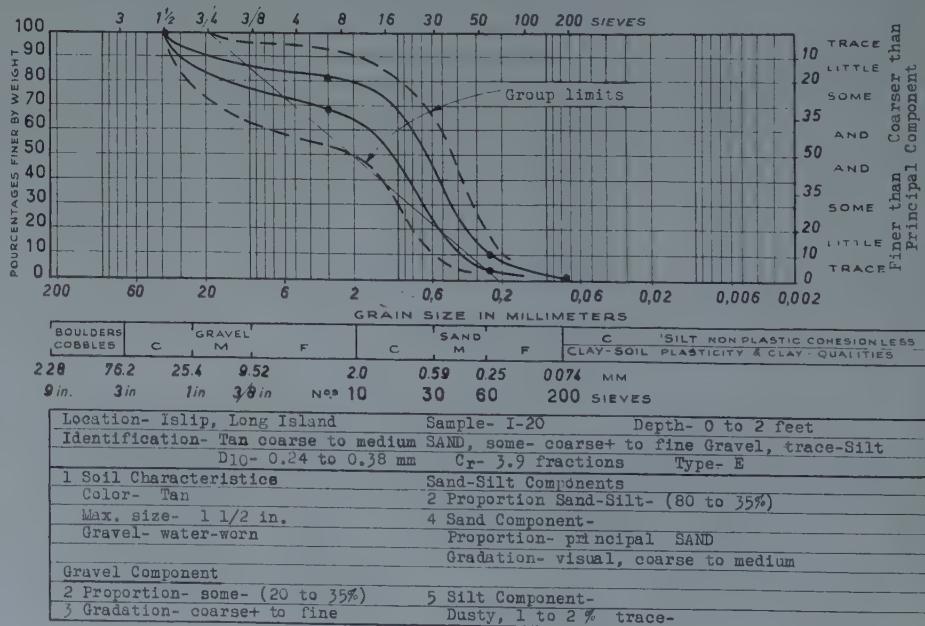


FIG. 1. — Identification d'un sol composé de sable et de gravier.  
 (Extrait de Highway Research Board.)

ne faisant appel à aucun outillage spécial, basés sur l'observation raisonnée. Sa « Méthode d'identification » a pour principes essentiels :

— La séparation manuelle des éléments graveleux et sableux, l'évaluation quantitative des éléments par estimation des proportions des éléments les plus gros, d'après celles des plus fins.

— L'observation de la présence ou non de silt argileux ou non argileux, liée à un test de plasticité, par façonnage d'une boule (ball test) du sol, dont on évaluera le diamètre d'aplatissement après une chute libre de hauteur déterminée.

— Une nomenclature d'appellations parfaitement rationalisées et ordonnées, chacune ayant un sens nettement défini au regard des éléments de la composition granulométrique et suivant leur importance quantitative.

L'écriture elle-même est soumise à des règles strictes soit sous une forme explicite, soit en écriture abrégée ne comportant que l'emploi de quelques lettres.

On aboutit ainsi à une transcription des caractéristiques sous une forme qui rappelle celle des symboles et formules chimiques.

Si cette écriture était universellement admise, elle ferait de la mécanique des sols, une science aussi facilement interprétable que la chimie.

Elle s'inspire des noms et appellations de la nomenclature établie par l'« American Society of Engineering Education » (A. S. S. E.) d'après les principes suivants :

#### DÉFINITIONS DES TERMES POUR L'IDENTIFICATION DES SOLS GRANULEUX

COMPOSANT	IDENTIFICATION		TERMES identifiant les proportions		ÉCARTS
	Écriture	Abréviation ou symbole	Écriture	Abréviation ou symbole	
1	2	3		4	
Composant principal.	Gravier. Sable. Silt.	G S S			50 % ou plus
Composant secondaire.	Gravier. Sable. Silt.	g s s	avec peu légèrement traces	a p t	35 à 50 % 20 à 35 % 10 à 20 % 1 à 10 %

#### TERMINOLOGIE POUR LA GRADUATION DES COMPOSANTS GRANULEUX

Écriture	DÉSIGNATION pour la graduation d'identification		PROPORTIONS EN POIDS
	5	6	
Grossier à fin....	c. f.	Toute fraction plus grande que 10 % du composant, mais le composant moyen domine.	
ou			
Moyennement grossier à fin.....	c. f.	Moins que 10 % de fin.	
Grossier à moyen...	c. m.	Moins que 10 % de grossier.	
Moyen à fin.....	m. f.	Moins que 10 % de grossier et fin.	
Moyen .....	m.	Moins que 10 % de grossier et moyen.	
Fin.....	f.		

La fraction prédominante, principalement pour le composant graveleux peut être désignée en ajoutant le signe + ou — immédiatement après le terme de la fraction, s'il peut être considéré comme significatif.

+ voudra dire : plus près de la limite maximum de la proportion.  
— voudra dire : plus loin de la limite maximum de la proportion.

par exemple :

gravier — grossier + fin  
ou moyen à fin + sable.

On complètera par des indications portant sur :

La couleur, la forme des grains, etc.;  
Le degré de compacité, le degré de plasticité;  
Les composants organiques (mica ou matières étrangères par exemple);  
Les matières organiques;  
L'origine géologique, l'horizon géologique.

Eufin, des caractéristiques de plasticité définies par l'essai préconisé :

DEGRÉ DE PLASTICITÉ	INDICE de plasticité	NOM CORRESPONDANT
Non plastique.....	0-1	Silt.
Légèrement.....	1-5	Trace d'argile.
Peu plastique.....	5-10	Peu argileux.
Moyennement plastique.....	10-20	Argile et silt.
Très plastique.....	20-35	Silt argileux.
Extrêmement plastique.....	> 35	Argile.

Un sol sera alors identifié par exemple ainsi :

Échantillon 1 — 20.

Écriture = Sable 'grossier à moyen,  
Gravier peu (—) grossier à (+) fin, trace (—) silt,  
Graviers roulés,

Abréviation = Sable cm, p — c + f gravier, t — silt,

Symbole = c. m S, p — c + f. G, t — s,

et ceci sera la transcription des observations du bulletin d'analyse d'identification (fig. 1).

Le professeur BURMISTER attache une grande importance à la forme et à l'étendue de la courbe granulométrique, à la proportion des éléments fins, au module de la finesse, qui rattachent tous ces éléments de simple observation aux propriétés du sol, vis-à-vis de :

La perméabilité, la capillarité, l'action du froid;

La plasticité, le gonflement, le retrait;

La compacité naturelle ou à obtenir par compactage;

La résistance à la compression, la compressibilité;

La résistance au cisaillement, les déformations plastiques;

Les caractéristiques de stabilité en talus et en remblais.

L'« identification » en marquant le caractère propre d'un sol, sera la base de toute étude. Elle permettra alors d'examiner les caractéristiques particulières et leurs variations, d'apprécier leur importance relative au regard de la tenue présente ou future du sol enfin, d'utiliser au mieux les acquisitions de l'expérience afin de prévoir l'avenir par comparaison avec le passé, et quelles caractéristiques, quelles variations de celles-ci pourraient, ou ont pu, intervenir pour modifier ces prévisions.

Il n'est pas besoin de souligner l'intérêt de ce procédé de concrétisation des caractéristiques du sol.

L'identification peut lier intimement la reconnaissance, domaine du sondeur, aux résultats des essais mécaniques, domaine du laboratoire et aux conclusions qui s'y rapportent en regard du problème à résoudre, domaine de l'ingénieur.

Elle est génératrice de progrès par le rapprochement qu'elle naîtra. Elle rationalise l'expérience et en souligne l'expression.

Elle constitue en un mot un langage dont l'application généralisée aurait pour la mécanique des sols, les mêmes avantages que l'écriture universellement connue et adoptée de la chimie classique.

### Références.

Notes de conférences, avec l'assistance du professeur Donald M. Burmister. Université de Colombia (N. Y. C.).

Tiré à part de *Proceedings of the twenty ninth annual meeting of the Highway Research Board* (December 1949).

*Principles and techniques of soil identification symposium* — ou — *The identification and classification of soils. Special technical publication*, n° 113.

Published by the American Society for testing materials, Philadelphia, 1951.

## III. — PROPRIÉTÉS DES SOLS ARGILEUX

On attache une très grande importance aux États-Unis, à l'étude chimique, pédologique, géologique, des constituants des sols, et aux interractions des phases qui s'y trouvent généralement en présence : solide, liquide, gaz.

Ceci est apparu, dans ce pays, comme une nécessité absolue, en raison du développement considérable et extrêmement rapide des applications routières : créations de voies entières sur de vastes étendues de sol vierge, sous des latitudes très diverses, amélioration et entretien de chaussées appelées à subir un trafic automobile, de jour en jour plus intense.

Ceci résulte des recherches entreprises depuis de nombreuses années pour la solution des problèmes de stabilisation, lesquels ont vu leur importance s'accroître pendant la dernière guerre. Ils demeurent au programme des organismes qui président à la préparation minutieuse des besoins des armées susceptibles de se trouver appelées à opérer sur les territoires les plus divers.

Le professeur Hans F. WINTERKORN de l'Université de Princeton, est parmi ceux qui ont le plus contribué à mettre en avant le point de vue structural du sol dans ses attaches avec le minéral de base, ainsi que les effets provoqués par les agents qui régulent son comportement final dans le système complexe qui constitue sa forme définitive.

Le sol représente des résidus naturels, ses propriétés dépendent du substratum géologique, des conditions climatiques, topographiques et aérologiques, ainsi que des temps d'acclimatation à ces facteurs.

En raison de la complexité des formations, les tentatives d'explication des phénomènes observés et de classification des sols pour la simplification de leur étude ont été plus qualitatifs et subjectifs que quantitatifs.

La branche subjective en ce qui concerne le corps naturel, est le domaine de la pédologie. L'ingénieur doit se familiariser avec cette science et être à même d'utiliser ses outils de travail. Elle lui donne l'orientation qualitative vraie.

Dans l'exécution de son travail, il peut relier les essais de classification et les procédés d'évaluation développés pour ses propres besoins.

La pédologie dans ses efforts pour examiner :

des indices généraux des problèmes qui peuvent se poser et des potentialités à utiliser dans les comportements de sols.

L'ingénieur mécanicien du sol y trouvera l'enseignement que les sols argileux sont plus ou moins des systèmes organisés, dont les propriétés physiques et physico-chimiques dépendent non seulement du type et de la quantité des constituants, de la température et de la pression, mais aussi de l'arrangement de ces constituants, c'est-à-dire de la *structure conditionnée par leur histoire et leur passé*.

Cette structure est seulement partiellement brisée dans les applications qu'il se propose de réaliser pour les besoins de ses constructions.

Mais les systèmes de sols étant normalement constitués de solide, liquide et gaz, la composition et le caractère de ces phases, varient d'un sol à un autre et à l'intérieur d'un même sol, souvent d'une saison à une autre.

Aussi les relations du sol et de l'eau en particulier, ont-elles des incidences sur la tenue des systèmes et ne peuvent-elles être négligées.

Les phénomènes résultant de l'interaction des surfaces des minéraux avec l'eau, lesquels mettent en évidence l'influence de leur surface spécifique et la nature même du minéral, dépendent des propriétés de l'eau aussi bien que de celles des minéraux, et les propriétés de l'eau sont aussi complexes que celles des minéraux.

Par suite de son poids moléculaire et de ses analogies avec des composés similaires ( $H_2S$  —  $H_2Se$  —  $H_2T_2$ ), l'eau devrait être sous la forme gazeuse aux températures ordinaires. Cependant, c'est un liquide, et de plus, l'examen aux rayons X de ce liquide, décale des propriétés associées aux solides, conséquence de la nature tripolaire et de l'architecture de la molécule d'eau. Quelques molécules bipolaires sont relativement accessibles, elles permettent à la molécule de s'associer librement avec d'autres molécules de même qualité ou avec d'autres composés de la matière, chargés positivement ou négativement.

Ainsi, le champ des relations eau-sol devient-il une branche de l'électro-statique.

Si l'ingénieur avisé entend mettre les fondations de ses ouvrages au-dessous des grandes variations périodiques de la température et de l'humidité, ces solutions sont impossibles lorsqu'il s'agit de routes ou de chaussées d'aviation.

La structure superficielle de ces ouvrages fait qu'ils sont continuellement exposés aux fluctuations de la température et de la teneur en eau et par suite, aux variations concomitantes des potentiels électriques.

Ces fluctuations transmises aux fondations et aux sols sous-jacents modifient leur stabilité momentanée aussi bien que leur durée d'utilisation.

Si ces fluctuations ont un caractère périodique d'allure sinusoïdale, leur action en profondeur et en intensité dépend des valeurs de transmission spécifique du système et de la périodicité du phénomène.

Il est donc logique et indispensable de considérer l'élaboration des projets comme entièrement liée aux progrès des connaissances et phénomènes dynamiques, qu'ils soient de caractère intermittent ou cyclique.

Ces progrès réclament des reconnaissances de base, une connaissance de l'allure des phénomènes.

Si le matériau est sec ou plastique, les forces attractives de l'eau réagiront différemment. Elles pourront ne pas affecter sa structure ou au contraire s'apparenter à une explosion.

Ainsi, d'après le professeur WINTERKORN, l'étude des sols devrait comporter :

L'étude anatomique = composition granulométrique, caractères minéralogiques et chimiques des composants, leur disposition dans les unités de structure secondaire.

L'étude mécanique = comportement du sol au regard des efforts de consolidation, de cisaillement et de la perméabilité de l'eau.

L'étude dynamique ou physiologique se rapportant aux conditions de variation de la température et des mouvements de l'eau, leurs conséquences du point de vue purement mécanique et vis-à-vis des phénomènes biologiques qui peuvent s'y rattacher.

L'étude de l'aspect chimique comme apport aux directives générales et aux termes de correction.

L'influence des facteurs biologiques a été longtemps négligée, il est cependant impossible d'ignorer ces facteurs quand il s'agit de traiter de vastes étendues ou des volumes importants de terrains superficiels dans lesquels des matières organiques constituent un indice d'activité de bactéries.

La couverture d'un tel sol pour une chaussée peut être affectée par la capacité portante du sol de base, donc par sa sensibilité à l'action bactérielle.

Certains stabilisateurs organiques peuvent, surtout s'ils sont ajoutés en petite quantité, agir comme stimulants vis-à-vis de cette action et apporter une contribution à un effet destructif.

En ajoutant des bactéries et des substances microbicides, on ne résoud qu'imparfaitement le problème, la plupart des produits connus réagissant sur certains composants du sol et les stabilisateurs.

Ils deviennent insolubles et, par suite, inactifs.

La théorie des transmissions de la température a été introduite par les travaux de FOURIER. Dans le cas des matériaux, cette théorie a été présentée récemment d'une façon simplifiée.

Les conséquences physiques en sont :

— Les variations journalières et annuelles de la température à la surface, exprimées sous une forme sinusoïdale.

En raison de la conductibilité calorifique du sol, ces fluctuations sont transmises en profondeur, mais l'amplitude se trouve amortie par la capacité calorifique du sol.

Par suite du temps nécessaire à la transmission de cette chaleur, le sommet de la sinusoïde est retardé au fur et à mesure de l'accroissement de la profondeur de pénétration, jusqu'à ce que la longueur du retard atteigne une demi-sinusoïde.

Le temps des températures les plus fortes en surface se trouve être le même que celui des plus basses températures de la demi-période.

QUATELET, qui exécuta les premières déterminations, fixa à 17 m la longueur de la vague annuelle, et à 1 m, la longueur de la vague journalière.

La grandeur de ces effets est illustrée par les résultats suivants :

PROFONDEUR en mètres	AMPLITUDE EN DEGRÉS	
	Observée	Calculée
0,19	13,28	13,28
0,37	11,35	10,28
1,95	7,60	0,90
3,90	4,50	
7,80	1,40	0,60

La connaissance des variations de température dans un ensemble : chaussée, fondation, sol naturel, est donc des plus importantes pour la détermination des propriétés mécaniques qui se trouvent directement liées à ces effets, par les conditions physiques de l'eau des pores et le comportement de ces conditions vis-à-vis des facteurs de stabilité momentanée et variables dans le temps, et aussi au regard de phénomènes plus complexes, tels que le refroidissement de l'eau en couche ou en lentille.

Le professeur Karl TERZAGHI de l'Université d'Harvard a publié une importante étude sur le gel permanent (permafrost) que nous n'analyserons pas ici, car sans nier son grand intérêt pour l'explication générale des phénomènes liés au gel de l'eau dans les pores du sol, elle s'applique plus spécialement aux ouvrages dans des régions soumises à des températures très basses.

On aura cependant à s'y reporter en maintes occasions pour rechercher les causes des désordres de chaussées dans les zones soumises au gel de surface, ainsi que pour certaines données relatives à la transmission de la chaleur dans les sols.

#### Références.

WINTERKORN (Hans F.).

Mecanism of water attack on dry cohesion soil systems. *Soil Science*, vol. 54, no 4, octobre 1942, p. 259 à 273.

Sensitivity of clay to remolding and its possible causes. *Proceedings of the 37th annual meeting of the Highway Research Board*, décembre 1947, p. 435 à 442.

Physical-chemical testing of soils and application of the results in practice. *Proceedings of the 28th annual meeting of the Highway Research Board*, décembre 1940, p. 798 à 806.

Importance of volume relationships in soil stabilisation. *Proceedings of the 39th annual meeting of the Highway Research Board*, décembre 1949.

A fundamental approach to the stabilisation of the cohesive soils. *Proceedings of the 39th annual meeting of the Highway Research Board*, 1948, vol. 28.

Waterproofing cohesive soils by resinous treatment. *Soil Science Society of America. Proceedings*, 1945, vol. 10.

Engineering properties of clay soil. Winterkorn road Research Institute, bulletin no 1, 1950.  
Professeur TERZAGHI (Karl),

Climate and Highways. Harvard University. Cambridge Mass.

Permafrost. Boston Society of Civil Engineers, janvier 1952, p. 2 à 50.

#### IV. — STABILISATION DES SOLS

Stabiliser un sol par les procédés traditionnels (addition de liants hydrauliques ou bitumineux) est une opération très souvent coûteuse par l'éloignement des centres de production mais de plus, en cas de conflit, le transport de ces produits limite considérablement leurs possibilités d'emploi, en raison du poids relativement élevé des produits nécessaires à cette stabilisation.

Aussi, dès le début de la seconde guerre mondiale, a-t-on entrepris de résoudre plus élégamment le problème de la stabilisation superficielle des sols.

Les recherches sont poursuivies activement dans de nombreux centres et laboratoires, dont les préoccupations immédiates relèvent plus des nécessités militaires que de strictes utilisations à des besoins civils.

Produits ou méthodes doivent en principe satisfaire aux conditions :

Dangers d'emploi minimes pour le personnel et le matériel;

Quantités aussi faibles que possible à mettre en œuvre;  
Stabilisation rapide;

Minimum d'opérations ou de matériel spécial.

On admet que l'efficacité de la stabilisation puisse ne pas excéder deux mois. Mais, on exige que les opérations soient aussi simplifiées que possible et ne fassent appel qu'à du matériel courant ou facilement industrialisable.

Aussi, la notion du prix même du produit, peut-elle temporairement s'effacer devant l'impératif d'utilisation de tous terrains, si argileux et compressibles qu'ils soient.

Le professeur Hans F. WINTERKORN, utilisant de nombreuses recherches réalisées par le *Missouri State Department*, put démontrer que l'imperméabilisation des sols cohésifs était due à une *action ionique*.

Il découvrit que la part la plus importante des produits bitumineux généralement utilisés, reste sans action sur le sol. Si un minimum de matière active correspondait à la nature d'un sol traité, il suffisait de le mélanger à ce sol.

Avec des résines artificielles à base de 70 % d'aniline et 30 % de « furfural », il obtint une stabilisation efficace, en utilisant simplement 20 % de produit actif.

Les résines naturelles, telles que celles que l'on peut rencontrer dans de nombreuses zones d'opérations militaires peuvent être traitées par des solutions alcalines.

Les résultats sont d'autant meilleurs que le rapport alcalin est plus proche d'un optimum correspondant à un sol complexe comprenant :

une partie d' « abiétate de sodium »  
pour trois parties d' « abiétate acide ».

Les sols acides répondent mieux au traitement stabilisateur que les sols basiques ou neutres.

Avec le sol complexe pur, il suffit de 0,20 % en poids du sol sec pour un traitement efficace.

De nombreuses applications ont été faites pendant la dernière guerre.

Les procédés chimiques, par l'infinité variété des produits concevables, risquent donc de fournir une abondante source de stabilisants. Leur découverte et leur exploitation n'en sont encore qu'à leur début.

Parmi ces derniers, le professeur William LAMBE de l'Institut de Technologie de Massachusset (M. I. T.), porte ses efforts sur l'emploi de l'acrylate de calcium utilisé seul ou comme agent de polymérisation.

Dans le sol, l'ion sodium ionise l'acrylate en présence d'eau (celle de la solution et l'eau naturelle du sol). La réaction d'échange conduit à la formation d'acrylate de sodium.

En seconde étape, on polymérisé l'acrylate constitué avec le sol ou restant en dissolution dans l'eau. Des chaînes de polymères se constituent, dont la principale est attachée au sol par l'ion calcium, mais aussi aux ions calcium en excès.

Un maillage extrêmement serré prend naissance, les particules de sol sont reliées entre elles.

Si la quantité de polymères augmente, la résistance du système s'accroît, les attaches sont plus fortes, le sol devient plus résistant.

En plus des attractions électrostatiques développées par les ions, une attraction durable se manifeste en donnant au sol une sorte d'adhésivité analogue à celle de la colle sur le bois. Dans un sol sableux, par exemple, les grains de sable sont visiblement attachés par les polymères.

L'acrylate de calcium n'échappe pas à l'effet que produit un stabilisateur quelconque sur les caractéristiques mêmes du sol. Son emploi pour des sols uniquement composés d'éléments très fins, est plus difficile que pour des sols à grains grossiers, mais des résultats non négligeables ont pu être obtenus sur des sols s'étendant du gravier à une argile riche en montmorillonite.

La polymérisation est influencée par l'agent réducteur, oxydant ou catalyseur. Il intervient par sa nature, sa concentration dans la vitesse de polymérisation, ainsi que le dosage en acrylate, la teneur en eau du sol, la température ambiante, la présence

de sels (certains de ceux-ci peuvent altérer les effets ou même les empêcher, tel le potassium), enfin, les caractéristiques mêmes du sol.

Une méthode riche de promesses, consiste à copolymériser l'acrylate de calcium avec d'autres monomères ioniques ou non ioniques, monofonctionnels ou polyfonctionnels.

Elle permet de modifier étrangement les propriétés de la polymérisation.

On assiste alors à une transformation étonnante des propriétés mécaniques du sol polymérisé, aussi bien par simples monomères ou par les polymères : abaissement de la limite de liquidité, accroissement de la densité maximum, obtention de la résistance à la traction des sols n'en possédant aucune, augmentation sensible de la résistance à la compression, déformabilité et flexibilité élevées, perméabilité pouvant être considérée comme nulle, compressibilité extrêmement faible, résistances pour des sols traités avec 10 % d'acrylate comparable à celle des mêmes sols traités avec 10 % de ciment portland ou 30 % de produits pétroliers, aucune alteration ou ségrégation sous l'effet de la glace.

Mais la sensibilité de l'acrylate de calcium est encore l'objet d'études pour réduire cette sensibilité qui rend son dosage assez délicat, quoique possible, quelle que soit la teneur en eau du milieu à stabiliser en agissant sur les proportions d'acrylate.

De même, si on a pu construire des appareils de laboratoire dans le genre de malaxeurs à palettes pour réaliser un mélange intime, il n'existe pas encore d'appareils commerciaux satisfaisants, pour en traiter de grandes quantités.

L'acrylate de calcium n'est pas encore produit industriellement, aussi son coût est-il assez élevé. Mais le prix d'un produit chimique étant fonction de la matière première à partir duquel il peut être obtenu, l'industrie devrait être capable de résoudre ce problème et le prix d'un traitement du sol à l'acrylate de calcium, deviendrait inférieur à celui du traitement par liant hydraulique, tel le ciment.

L'utilisation de l'acrylate de calcium sous forme d'injections a été envisagée, les résultats des essais conduits vers la recherche d'une imperméabilisation des sols traités sont très encourageants, la viscosité de la solution est du même ordre que celle de l'eau.

Ainsi, l'acrylate de calcium ou tout autre corps que la chimie organique est susceptible de faire apparaître, représente-t-il un important progrès dans la recherche des moyens de stabiliser un sol.

Les propriétés naturelles du sol sont amplement modifiées par apparition de qualités mécaniques hautement appréciables, telles la résistance, la souplesse et la flexibilité, l'imperméabilité, la protection contre l'action du froid. Il est extrêmement aisé de les faire varier sur une très grande échelle en agissant seulement sur le degré de polymérisation par dosage de l'acrylate avec d'autres monomères.

Toutefois, il reste à mettre au point des méthodes de mélange et la sensibilité vis-à-vis de l'eau, ainsi que la production industrielle de produits dont le prix commande le coût du traitement.

Certains chercheurs, cependant, n'abandonnent pas pour autant le point de vue civil, lié aux problèmes militaires.

C'est ainsi que le professeur Louis J. GOODMAN de l'Université d'État de l'Ohio (Columbus) s'est efforcé de combattre l'érosion des sols. Il est vrai cependant, que si les applications sont nombreuses pour les besoins courants, agriculture, revêtements de digues, de canaux, ou simple protection de talus, le point de départ des recherches est encore, selon ses propres affirmations, les dangers d'érosion auxquels certains aérodromes ou dépôts de munitions sont exposés.

L'appareil qu'il a imaginé, compare les traitements chimiques (traitement superficiel et traitement en profondeur), d'échantillons de sol prélevés dans différentes contrées.

C'est un cadre à toiles métalliques recouvert de mousseline, réglant le diamètre et l'uniformité de la répartition de gouttelettes de pluie tombant d'une hauteur donnée (4,26 m) sur un disque horizontal dont la vitesse de rotation est constante et peut être réglée à volonté (fig. 2).

Les échantillons placés sur cette table reçoivent une quantité uniforme de gouttelettes. La vitesse de l'érosion ainsi provoquée est observable en fonction du temps d'exposition et de l'intensité de la pluie.

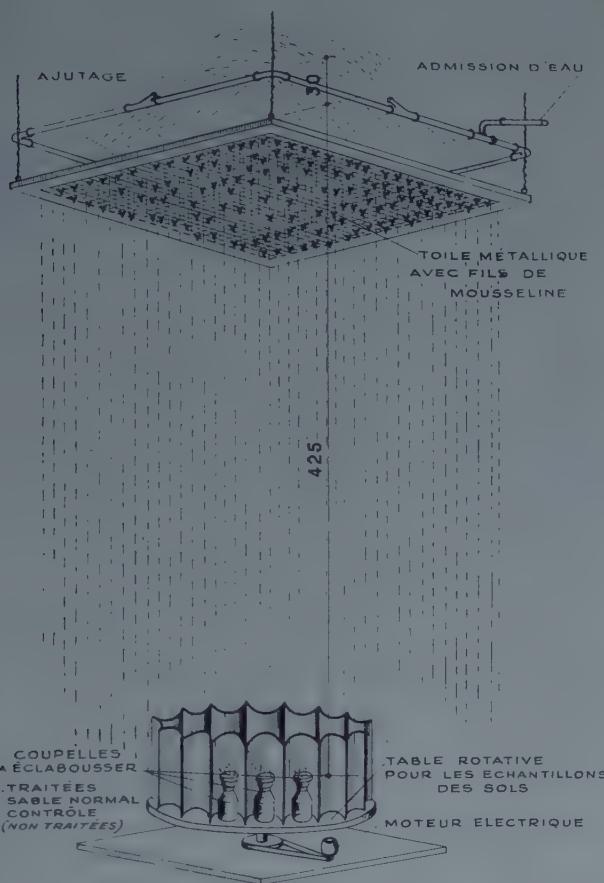


FIG. 2. — Générateur de pluie.

Les méthodes de stabilisation tendent :

- A réduire les effets dommageables des pluies sur les pentes.
- A résister à l'érosion pendant un ou deux ans, temps généralement reconnu suffisant pour permettre à la végétation de se développer.

Les produits doivent rester inoffensifs vis-à-vis du développement de cette végétation.

Des essais ont été réalisés en plusieurs contrées.

## V. — PORTANCE DES SOLS

### Qualités contrôle.

Parallèlement aux procédés d'amélioration des qualités mécaniques des sols, se développent les recherches d'appareils susceptibles d'enregistrer ces qualités. Simplicité, maniabilité sont de règle, car il faut que le premier venu, sans aucun secours d'organisme spécialisé, soit à même de les utiliser.

Le professeur A. A. WARLAN, de l'Université de New York, met au point une aiguille Proctor modifiée, enregistrant la résistance au poinçonnement. Elle constitue la tête d'une fusée en métal léger qui s'enfonce verticalement dans le sol sous l'effet d'une percussion. On peut la catapulter d'un avion.

La reconnaissance d'un terrain d'atterrissement ou d'itinéraires routiers peut être ainsi résolue rapidement au moyen de ces

La « Monsanto Chemical Co » a préparé plusieurs polymères solubles dans l'eau, dont l'effet est remarquable sur la structure des sols contenant de l'argile.

Ces produits sont efficaces sur l'état d'agrégation. Ils sont absorbés par les particules en développant les forces attractives. L'action de l'eau ne réussit pas à les dissocier du sol traité.

Certains de ces produits sont très efficaces lorsqu'ils sont appliqués superficiellement, ils le sont beaucoup moins dans des mélanges en épaisseur. Quelques-uns ont un contrôle effectif sur la formation des boues. Un sol silteux est susceptible de geler, un sol silteux traité n'est plus accessible aux actions du froid.

Les tranchées et les remblais pourront être dressés avec des pentes plus raides lorsqu'ils seront traités au moyen de ces produits. Mais ceux-ci restent encore d'applications limitées, l'industrie n'étant pas encore en mesure de les livrer en quantités suffisantes pour amortir les prix de fabrication encore trop élevés.

On peut cependant envisager que celle-ci aboutira rapidement à un abaissement de ses prix de revient.

### Stabilisation par éléments préfabriqués.

Cette forme de stabilisation intéresse surtout l'armée en cas de conflit.

Les recherches consistent essentiellement à découvrir des procédés de constitution d'éléments résistants capables d'introduire un squelette solide dans des sols uniquement composés d'éléments fins ou argileux et en utilisant strictement comme matériau de base, le sol lui-même, c'est-à-dire, en définitive, l'argile.

De très nombreux laboratoires privés ou publics étudient les possibilités de produits expansés à base d'argile naturelle. Ce sont des galets, des graviers, des sables, des briques, entièrement reconstitués par des procédés non encore livrés au public, par traitements calorifiques et mécaniques.

Dans ce domaine, comme dans beaucoup d'autres, les efforts en faveur de la défense nationale peuvent aboutir à une élosion de procédés qui auront leur utilisation en maintes contrées dépourvues de matériaux à structure cristallisée, pour peu que les matériels et l'énergie nécessaire à cette régénérescence des qualités mécaniques, soient encore applicables et rentables.

Mais, l'ingéniosité et la productivité de l'industrie américaine sont telles que l'on peut prévoir que l'on obtiendra, à plus ou moins brefs délais, les solutions satisfaisant à la fois la théorie et la pratique.

### Références.

Professeur LAMBE (H. Willard). *The stabilisation of soils by « in situ » polymerisation.* Massachussets Institute of Technology Cambridge Mass.

Professeur GOODMAN (J.). Columbus University Ohio. *Erosion control in engineering works. Agricultural Engineering*, vol. 33, n° 3 mars 1952, p. 155 à 157.

nouveaux engins dont l'enfoncement sera enregistré à bord de l'avion de reconnaissance.

Il a conçu également une machine ultra-légère susceptible d'effectuer des essais de compression, de traction, des mesures d'indice portant, des essais triaxiaux courants, appareil quasi universel dont on pourrait doter un laboratoire volant, civil ou militaire.

### Références.

Professeur WARLAN (A.), New York University College Engineering Research Division.

Professeur HONG (B. K.). *A universal loading machine for engineering tests on soil.* Tiré à part A. S. T. M., Bulletin n° 170 (décembre 1950).

## VI. — CONSOLIDATION PHYSIQUE DES SOLS

Le professeur Léo CASAGRANDE, de l'Université d'Harvard, est parmi ceux qui ont le plus contribué à rechercher les effets et les applications pratiques des courants électriques, comme moyens de drainage de l'eau des pores de sols fins, compressibles, et par suite dangereux pour la tenue des pentes et des remblais.

Dans un rapport présenté au Meeting of the Structural Section of the Boston Society of Civil Engineers (janvier 1951), il rappelle, en même temps que certains principes essentiels de l'électro-osmose, quelques-unes des plus marquantes applications qu'il en a faites, dans divers pays, comme ingénieur-conseil.

Le coefficient de perméabilité électro-osmotique d'un sol est indépendant du volume et de la forme de ses pores. Ses dimensions ( $\text{cm}^2/\text{s}^{-1}$ ), par analogie avec celles du coefficient de perméabilité hydraulique, seront ramenées à :

$$\text{cm/s}^{-1} \text{ pour un gradient potentiel de } 1 \text{ V/cm.}$$

La perméabilité électro-osmotique sera très sensiblement la même pour tous les sols dont le gradient potentiel sera du même ordre. Pour les sables, silts ou les argiles, on peut admettre, en pratique :

$$K_0 \text{ cm/s} = 0,5 \times 10^{-4}.$$

Comparant les perméabilités électro-osmotiques et les perméabilités hydrauliques, il est évident que de grandes possibilités sont offertes par l'électro-osmose pour mouvoir l'eau dans des sols, peu perméables hydrauliquement.

Si, pour des argiles, le coefficient de perméabilité hydraulique est de l'ordre de

$$10 \times 10^{-9} \text{ cm/s,}$$

le gradient hydraulique susceptible de provoquer le même mouvement qu'un gradient potentiel de 1 V/cm, sera de : 5 000, c'est-à-dire, équivalent à une charge d'eau de 5 000 m agissant sur une tranche de sol de 1 m.

L'électro-osmose provoque dans des matériaux compressibles à grains fins, des tensions dans les pores et par suite, des efforts de compression auxquels correspond une consolidation du squelette.

La consolidation provoquée par l'électro-osmose est capable de rétablir l'équilibre des sols vis-à-vis de leur charge propre et de réduire les tendances au gonflement.

Avec des électrodes en aluminium, dont le brevet a été pris par le professeur Léo CASAGRANDE, on peut même obtenir un échange de bases et une consolidation irréversible.

Les applications pratiques durant ces vingt dernières années ont été nombreuses en particulier dans des cas :

- De stabilisation de talus de tranchées de chemin de fer;
- D'ouverture de fouilles de fondations de piles de pont;
- De construction de darses pour sous-marins;
- De stabilisation de remblais de chemin de fer.

Le professeur Léo CASAGRANDE conclut :

« L'espacement des électrodes dépend principalement de la différence de potentiel applicable, 3,5 m à 5 m, pour des différences de potentiel comprises entre 80 et 180 V, semble devoir être l'espacement efficace et économique dans les cas courants.

Des gradients potentiels de plus de 1/2 V/cm sont d'usage dans les applications de longue durée, un accroissement conduirait à une perte d'énergie et une augmentation de chaleur considérable du sol.

« Il peut cependant être avantageux d'utiliser des gradients de 1 à 2 V/cm pendant les quelques premières heures pour assurer une plus rapide mise en tension de l'eau des pores.

« De récentes études du « Bureau of Reclamations » conduisent à une économie possible de puissance en opérant par intermittence. »

« Les électrodes peuvent être en acier laminé, des vieux rails par exemple pour l'anode. A la cathode on placera, soit des tuyaux ordinaires percés, soit ces mêmes tuyaux noyés dans un puits rempli de sable drainant suivant le procédé connu des « well-points ». »

\* \* \*

Le professeur Hans F. WINTERKORN a longuement étudié ces phénomènes de consolidation, ainsi que leurs analogies avec les phénomènes de thermo-osmose.

Selon ce professeur, quatre hypothèses principales sont applicables aux déplacements d'humidité observés dans les systèmes poreux soumis à un gradient de température ou, suivant son expression, « à un potentiel thermique » ou encore, à un potentiel de concentration de vapeur d'eau (water vapor concentration potential), les deux premières n'ayant pas nécessairement une origine thermique.

1° La diffusion de vapeur d'eau à travers un système poreux par concentration ou potentiel de pression.

2° La diffusion d'eau dans une solution, ainsi qu'on l'observe à travers une membrane hydrophile séparant deux régions dans lesquelles règnent des pressions différentes de vapeur d'eau.

3° Le flux d'eau capillaire provoqué par les différences de tensions superficielles résultant de températures différentes à l'intérieur du corps poreux.

4° Un flux sous forme de film d'eau à la surface des éléments solides, l'affinité de l'eau vis-à-vis du solide variant avec la température du milieu.

Dans les sols, les hypothèses 2 et 4 sont pratiquement identiques sauf si le sol contient une grande quantité de matières organiques hydrophiles.

Bouyoucos avait posé le principe que :

Pour chaque sol, le flux dépend de sa teneur en eau initiale, le flux maximum correspondant à une teneur en eau optimum, voisine de sa limite de plasticité. Ce flux ne pouvait qu'en partie se manifester dans la phase vapeur.

Smith Mac LEAN et GWTAKIN expliquaient le mouvement liquide par transfert de vapeur d'eau et phénomènes de convection.

Le professeur WINTERKORN suppose que toutes les combinaisons sont possibles à la fois. Il suffit pour l'utilisateur de savoir combien sont valables, et laquelle est la plus importante.

Si l'eau peut être évaporée par l'une des faces du corps poreux, transférée dans la phase vapeur et condensée sur une autre face, à l'énergie de transfert s'ajoutera une perte d'énergie par évaporation (ou condensation). Si le transfert s'effectue seulement sous la forme de film liquide, l'énergie nécessaire sera moindre.

En fait, le rapport de la chaleur produite à la quantité d'eau transférée est à la base de toute étude théorique ou pratique.

La diffusion de vapeur et les mouvements capillaires provoqués par des différences de tension superficielle ne peuvent contribuer que pour une faible part aux transferts observés.

Un transfert de vapeur dans les masses de sol compacté à la densité maximum et à une teneur en eau optimum, comme ce fut le cas dans les expériences de Trajo, est difficilement admissible.

Que le transfert maximum se manifeste à une teneur en eau voisine de la teneur en eau optimum de compactage Proctor, c'est l'indice que les forces attractives ont atteint un maximum qui correspond à une distance entre les molécules d'eau et les surfaces d'éléments solides, telle que la lubrification réalisée soit suffisante pour obtenir le maximum de concentration des éléments solides, mais cette distance est aussi la plus grande possible, une attraction plus faible conduit à un état liquide.

De plus, par la polarité de surface des particules de sol, des ions échangeables et des molécules d'eau présentes, les relations entre l'eau et le solide appartiennent à l'électro-statique. Le

facteur, forme des particules, intervient cependant pour rendre inapplicable les théories de Coulomb sur les charges ponctuelles. La représentation n'est possible qu'en supposant l'existence de champs électriques à valences épargnées dans la région des faibles attractions moléculaires.

La diminution de la constante diélectrique de l'eau, consécutive à une augmentation de sa température, indique que le champ est très sensible à l'augmentation d'activité cinétique des composants corpusculaires du champ, et fournit l'explication du changement d'affinité absolue de l'eau des matériaux argileux avec la température.

*En résumé :* l'analogie des effets provoqués par l'électro-osmose et la thermo-osmose, procède des principes suivants posés par le professeur WINTERKORN, et vérifiés par de nombreuses expériences :

Un liquide diélectrique traverse un système poreux par application d'un potentiel électrique.

Un liquide diélectrique traversant un système poreux sous une charge hydrostatique, crée un potentiel électrique (potentiel de courant).

L'eau traverse un sol soumis à un gradient de température dans lequel les forces provoquant le mouvement sont constituées par les différences d'affinité de l'eau à des températures différentes. L'affinité de l'eau vis-à-vis d'un sol est en relation intime avec la quantité et le type des ions échangeables, par suite de la charge électrique de ces ions et la nature bipolaire de l'eau, constituant ainsi un phénomène d'électro-statique.

La thermo-osmose est une forme particulière spéciale de l'électro-osmose.

Des expériences d'électro-osmose conduites sur argile de New-Jersey Hagerstown, à l'état naturel, et après traitement chimique, pour en faire apparaître les composants homoioniques, ont montré que :

1° L'application d'une différence de potentiel à un sol humide aboutit à une conductance ionique et électro-osmotique dont les proportions relatives dépendent de la quantité et du type des électrolytes dissous dans l'eau du sol.

2° L'eau tenue par unité d'énergie électrique augmente lorsque augmente la résistance électrique dans la phase liquide.

3° Parmi les composés homoioniques, le Ca, le K et le Na donnent les plus basses conductances, l'argile naturelle, et Mg sont intermédiaires, et l'H, le Fe et l'Al donnent les champs les plus économiques.

Le professeur WINTERKORN fut probablement le premier à déterminer un coefficient de perméabilité électro-osmotique qu'il définit comme correspondant au volume d'eau traversant par seconde une section de 1 cm<sup>2</sup> pour un gradient de 1 V/cm.

Il montra ainsi que la perméabilité électro-osmotique d'un sol n'est pas une constante, mais varie avec la teneur en eau et la différence de potentiel appliquée.

Plus la teneur en eau est faible, plus l'atmosphère entourant les particules de sol est grande.

Le professeur WINTERKORN introduit la notion de coefficient de perméabilité thermo-osmotique qu'il définit comme :

— La quantité d'eau traversant dans l'unité de temps une section de 1 cm<sup>2</sup> du système eau-sol, soumis à un gradient de température de 1° C/cm.

Il put alors conduire son interprétation au regard de l'analogie des deux phénomènes qu'il exprime dans le tableau précédent.

Les voltages développés au cours de la thermo-osmose furent :

SOLS	TENEUR en eau moyenne %	GRADIENT thermique °C/cm	VOLTAGE maximum sur 6,5 cm V	V/cm produit par 1° C/cm
H-Ben...	61,82	3,2	0,782	0,0376
H-Grun...	26,50	4,03	0,844	0,033
H-Kaol...	30,62	3,6	0,6065	0,0259
H-Soil...	22,53	2,69	0,5765	0,0329
Al.....	22,84	3,71	0,618	0,0256
Ca.....	19,99	3,49	0,422	0,01859
Nat.....	18,68	3,62	0,404	0,0172
Na.....	20,40	3,54	0,3745	0,0163
Mg.....	22,70	5,92	0,4055	0,0159
(K).....	25,77	3,92	0,393	0,0154

La quantité d'énergie calorifique nécessaire pour mouvoir une certaine quantité d'eau peut alors s'exprimer par le rapport :

$$\frac{\text{perméabilité thermo-osmotique}}{\text{conductibilité calorifique}} \frac{\text{cm/s et } ^\circ\text{C/cm}}{\text{cal/cm}^2/\text{o C/cm/s}} = \text{cm}^3/\text{cal.}$$

Pour des teneurs en eau assez voisines mais légèrement différentes cependant dans les deux séries d'essais, on aboutit aux valeurs suivantes :

SOL	TENEUR en eau %	PERMÉABILITÉ thermo-osmotique	CHALEUR de conductivité	cm <sup>3</sup> par calorie
H-Kaol..	30,62	$3,39 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$3,39 \times 10^{-3}$
H-Ben...	61,82	$1,91 \times 10^{-6}$	—	$1,91 \times 10^{-3}$
H-Grun...	26,50	$1,61 \times 10^{-6}$	—	$1,61 \times 10^{-3}$
Nat.....	23,12	$3,69 \times 10^{-6}$	—	$3,69 \times 10^{-3}$
K.....	21,85	$2,50 \times 10^{-6}$	—	$2,50 \times 10^{-3}$
Mg.....	22,70	$2,24 \times 10^{-6}$	—	$2,24 \times 10^{-3}$
H.....	22,53	$1,92 \times 10^{-6}$	—	$1,92 \times 10^{-3}$
Ca.....	22,66	$1,63 \times 10^{-6}$	—	$1,63 \times 10^{-3}$
Al.....	23,05	$1,49 \times 10^{-6}$	—	$1,49 \times 10^{-3}$
Na.....	21,46	$0,885 \times 10^{-6}$	—	$0,885 \times 10^{-3}$

SOL	TENEUR en eau %	EAU éliminée cm <sup>3</sup>	ÉNERGIE		cm <sup>3</sup> par calorie
			Ws	calories (1)	
H-Kaol..	30,84	1	774,4	185,1	$5,4 \times 10^{-3}$
H-Ben...	—	—	—	—	—
H-Grun...	36,45	0,2	965,7	230,8	$0,87 \times 10^{-3}$
H.....	22,60	1	964,4	230,5	$4,34 \times 10^{-3}$
Al.....	23,08	1	1 325,3	316,7	$3,16 \times 10^{-3}$
(K)....	21,83	0,5	957	228,7	$2,18 \times 10^{-3}$
Mg.....	22,57	1	1 948,9	465,8	$2,15 \times 10^{-3}$
Nat....	23,42	1	4 275	1 021,7	$0,98 \times 10^{-3}$
Na.....	22,29	0,5	3 836	916,9	$0,545 \times 10^{-3}$
Ca.....	24,39	0,8	7 469,4	1 785	$0,448 \times 10^{-3}$

(1) 1 Ws = 0,239 calories.

## Conclusions.

L'application d'un potentiel thermique provoque un potentiel électrique dans le sol, mais le voltage dépend de nombreux facteurs..

La teneur en eau du sol a un effet considérable sur la quantité d'eau mise en mouvement et sur le voltage développé.

Le gradient de température joue un rôle considérable en thermo-osmose, il affecte la valeur du coefficient de perméabilité.

La variation de ce gradient (s'il est faible) n'affecte pas le voltage produit, le mouvement de l'eau est instantané.

Le temps nécessaire pour établir un équilibre de gradient de teneur en eau, sous un gradient constant de température est différent pour chaque sol. Il peut atteindre 120 heures pour les argiles.

On peut admettre grossièrement, selon le professeur WINTERKORN, que du seul point de vue du phénomène 1° C/cm correspond approximativement à 10 mV/cm, et par suite, le drainage par thermo-osmose est au moins aussi économique que le drainage par électro-osmose dans une certaine limite de teneur en eau.

## Références.

Professeur CASAGRANDE (Léo), Harvard University Cambridge Mass. *Electro-osmotic stabilisation of soils. Boston Society of Civil Engineers*, janvier 1952, p. 51 à 83.

Professeur WINTERKORN (Hans F.), *Theoretical and experimental exploration of the practical possibilities of electro-and thermo-osmosis*. Winterkorn road Research Institute, Report Series n° 1.

*Fundamental similarities between electro-osmotic and thermo-osmotic phenomena. Proceedings of the 37th annual meeting of the Highway Research Board*, décembre 1947, p. 443 à 455.

## VII. — RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT DES SOLS

Le fait qui frappe, c'est la désaffection presque totale des spécialistes pour l'essai de cisaillement direct, tel qu'on l'exécute couramment encore en France sur le matériau préalablement consolidé, et par suite la répugnance à définir un matériau par deux caractéristiques :

Un angle de frottement interne;  
Une cohésion.

Les techniciens américains distinguent seulement des matériaux essentiellement pulvérulents et des matériaux essentiellement cohérents. Cette conception a sans doute son origine dans le désir de ne recourir qu'à des expressions mathématiques très simples, ou dans les cas plus complexes, à permettre la recherche de solutions graphiques.

L'équation aux dérivées partielles, si fréquente dans la mécanique des sols française, semble totalement inconnue. Outre cet avantage, de simplification dans l'exposition, il faut reconnaître que la conception américaine est sans doute plus proche de la réalité.

L'introduction des résultats d'essais de cisaillement sur matériaux consolidés dans des formules théoriques, telles que celles de M. CAQUOT relatives au refoulement, revient à admettre d'une part :

Que le matériau est en équilibre hydrostatique en chaque point sous les contraintes introduites par les surcharges;

d'autre part :

Que les courbes de glissement dans la zone d'équilibre radial sont voisines de spirales logarithmiques et non de cercles.

Les efforts résistants qui s'opposent au poinçonnement sont donc majorés en chaque point et cumulés le long d'une ligne très allongée. C'est une méthode très optimiste, si faible que soit le frottement interne introduit dans les calculs, et on conçoit l'importance d'un coefficient de sécurité élevé.

Les spécialistes des États-Unis s'attachent par contre à définir la résistance au cisaillement dans des conditions expérimentales qui soient les plus proches possible des conditions naturelles et l'appareil triaxial a été doté d'un luxe d'accessoires, qui permettent de régler la rupture dans des conditions très diverses. La simplification des montages permet d'autre part, d'en faire un outil commode, employé maintenant d'une façon banale.

Cet essai qui, pour les matériaux cohérents, n'est pas destiné à fournir des caractéristiques intrinsèques, mais une résistance globale au cisaillement du sol dans des conditions bien définies, n'est effectué que lorsqu'on a résolu deux problèmes :

a) Quelles sont les contraintes effectives que supporte le sol en place dans son état vierge ? d'où la nécessité d'étudier préalablement en général par des essais cédométriques, l'état de consolidation naturelle ou pour des sols compactés, les contraintes internes créées par le roulage.

Quel est le rapport approximatif dans le sol au repos, entre les contraintes verticales et les contraintes horizontales ? De cette première enquête, on déduit la valeur de la contrainte hydrostatique appliquée à l'échantillon avant rupture.

b) Dans quelles conditions conduire l'essai pour que les conditions de déformation imposées au matériau en cours d'essai, soient aussi proches que possible de celles qui se produiront dans la nature ?

On a ainsi la grande distinction entre essais drainés et non drainés, suivant que l'application des surcharges aura dans la nature un rythme suffisant pour provoquer ou non la consolidation du matériau. Il s'y ajoute l'essai à volume constant, qui pour les argiles saturées coïncide avec l'essai non drainé, mais qui pour des sols très perméables ou contenant de l'air, consiste à faire varier en cours d'essai la pression latérale.

C'est l'application des essais non drainés aux matériaux compactés qui a permis de mettre en évidence l'influence de la pression des pores dans les barrages en terre de grande hauteur.

On sait qu'un matériau compacté contient normalement une fraction sensible d'air lors de sa mise en place. La pose des couches successives provoque un tassement des assises inférieures, qui peut amener ainsi le sol à être saturé. L'eau a, à partir de ce moment, tendance à être expulsée, ou à se mettre en charge suivant le rythme de la construction; si ce rythme est trop rapide, il y a baisse brutale des caractéristiques mécaniques, les efforts étant pris par l'eau interstitielle, et danger de rupture.

C'est la réalisation des essais à volume constant sur des sols sableux ou limoneux de faible compacité qui permet l'étude complète de la liquéfaction en grande masse (glissement de terrain, boulance, rupture de digues semi-perméables).

On sait que ce phénomène associé à une rupture par cisaillement avec diminution de volume consiste dans la prise en charge par l'eau des pores de toutes les forces extérieures et en l'annulation brutale de l'angle de frottement interne.

Ces principes de base étant posés, nous reviendrons sur les montages que nous avons pu observer; ils diffèrent beaucoup d'un centre à l'autre, et on sent qu'il ne règne pas une doctrine unique sur ce point :

a) D'une façon générale, on a tendance, partout où l'essai triaxial est utilisé à la résolution des problèmes courants, à exercer la préconsolidation sous pression hydrostatique dans une enceinte distincte de celle qui est utilisée pour la rupture.

Le même appareil de compression peut donc être desservi par un nombre important de postes de mise en équilibre sous triple étreinte.

Cette pratique permet d'opérer ainsi, sans perdre un temps considérable, sur des échantillons de dimensions très importantes. Nous avons vu opérer au Bureau des Réclamations sur des carottes de 30 cm de diamètre, 60 cm de hauteur. On peut ainsi étudier directement des matériaux de corroi (routes ou barrages en terre) sans avoir à introduire de corrections souvent conjecturales.

La nature du fluide destiné à exercer l'étreinte latérale est très variable. Pour les essais systématiques, on exerce souvent exclusivement l'air (Cornell University), ou sous pression d'eau mise en charge par un réservoir d'air comprimé (Columbia University ou Bureau de Réclamations).

Toutefois, pour les essais très précis destinés aux recherches (Harvard University), on a renoncé à ce mode de chargement. Le professeur CASAGRANDE estime en effet, que l'air peut traverser la membrane de caoutchouc qui entoure l'échantillon, et que même avec un liquide interposé, l'air peut se dissoudre dans le fluide et finalement pénétrer dans le sol.

Il emploie dans ces conditions, l'huile de castor pour remplir non seulement l'enceinte latérale, mais encore les tubes d'approche sur une longueur d'eau moins 20 cm.

b) On observe la même diversité dans le mode de chargement qui provoque la rupture. La montée en pression continue (stress-control), nous a semblé peu usitée; nous ne l'avons vu pratiquer qu'à la Cornell University.

Plus généralement, on opère à vitesse de déformation constante (strain-control) avec des gammes de vitesse très variable (Columbia University, M. I. T. Bureau de Réclamations). L'avantage en est bien connu; ce procédé permet de mesurer la résistance au cisaillement résiduelle, après formation de la courbe de rupture.

Un des gros intérêts de cette méthode est qu'elle permet l'étude de la rupture progressive dans les matériaux zonés (sols routiers, barrages en terre); nous rappellerons brièvement ce problème :

Le long d'une courbe possible de rupture qui traverse des milieux de rigidités différentes, il est très rare que la totalité de la résistance au cisaillement puisse être mobilisée simultanément. Les couches les plus raides atteignent en effet leur pointe de résistance pour des déformations relatives beaucoup plus faibles que les zones plus souples. De sorte que, si la chute de résistance de la couche raide après le maximum est importante, on commettrait par les méthodes classiques des erreurs importantes, et qu'on doit procéder par approximations successives en se donnant à priori les déformations (rotations par exemple) et en mesurant dans chaque cas les efforts résistants.

L'exercice d'une vitesse de déformation constante nous semble pourtant présenter un écueil : la complexité de la méthode lorsqu'on mesure en même temps la pression des pores. Comme on n'est pas maître de la pression totale, la loi qui la relie à la pression de grain à grain (pression effective), ne peut être obtenue que sous une forme très complexe, et n'est pas univoque.

Un troisième procédé utilisé à la Harvard University consiste en un chargement discontinu; ce procédé ne nous a semblé utilisé que pour des recherches très précises, où on voulait mesurer avec certitude la pression des pores ou la variation de volume à certains moments critiques et éviter les erreurs dues au retard nécessaire pour atteindre l'équilibre.

c) La pression des pores est prise, soit par l'intermédiaire des pierres poreuses, soit par des aiguilles enfoncées au cœur de l'échantillon. Dans le premier cas (Bureau of Reclamation), on a remplacé les pierres classiques dont le pourcentage des vides

est trop grand et qui peuvent contenir une quantité d'air trop importante au départ par des plaques de bronze, ne comportant qu'un nombre très réduit de trous.

Au M. I. T. on utilise une aiguille plate, formée d'une plaque de cuivre plein contenant un petit orifice creux, et séparée par deux lames de cuivre poreux. Cette aiguille est enfoncee au cœur de l'échantillon à 45° sur le plan horizontal. A la North Western University (Chicago), on a adopté une aiguille hypodermique du type médical.

La mesure de la pression des pores est en général mesurée en l'équilibrant par une pression d'air comprimé ou par une colonne de mercure.

Toutefois, dans les services très riches comme le Bureau of Reclamation, cette pression est mesurée par la détermination de la déflection d'une membrane. Dans certains cas, cette déflection est compensée par une contre-pression d'air réglée par asservissement jusqu'à ramener en place le diaphragme. A la North Western University, c'est un cell électrique qui déclenche le compresseur jusqu'à équilibrer la pression neutre.

d) La mesure des variations de volume n'appelle pas d'observation. Elle se fait en général par l'étude du déplacement d'un niveau d'eau dans un tube capillaire horizontal.

En conclusions, je voudrais surtout revenir sur l'importance qu'on m'a semblé attacher, avant d'aborder tout problème, à étudier préalablement les déformations compatibles avec les liaisons.

L'essai de cisaillement n'ayant qu'une valeur relative et étant susceptible de conduire à des résultats très différents suivant la technique d'essais, il importe évidemment de reproduire avec beaucoup de précision, l'état dans lequel se trouvera le sol étudié au cours de toutes les phases qui précéderont la rupture.

En France, semble-t-il, on a trop souvent tendance à scinder les deux problèmes et à traiter à part les questions de stabilité et de déformation.

Enfin, l'on doit signaler que si les conceptions sur le cisaillement entrevues aux U. S. A. semblent différer assez nettement de celles qu'on peut rencontrer en France, elles n'ont rien d'absolument original et que les idées en cours en Angleterre par exemple, en semblent bien voisines.

#### Références.

- [1] CASAGRANDE (A.) et WILSON (S. D.), Reports to Waterways experiment station on triaxial Research performed during 1950-1951. Harward University.
- [2] HOUGH (B. K.), A universal loading machine for engineering tests on soils. A. S. T. M., Bulletin n° 170, décembre 1950.
- [3] BURMISTER (Donald M.), The importance of natural controlling conditions upon triaxial compression tests conditions. A. S. T. M., n° 106, 1951.
- [4] OSTERBERG (J. O.), Testing equipment and research activities of the soil mechanics laboratory. Northwestern University.

### VIII. — LE POMPAGE DES SOLS SOUS LES CHAUSSÉES EN BÉTON

Lorsque nous avons interrogé des ingénieurs routiers sur les méthodes de calcul qu'ils employaient pour la détermination des hauteurs de chaussées en béton, nous avons toujours rencontré le plus parfait scepticisme à l'égard des formules à caractère scientifique. Nous avions cru d'abord déceler un aspect de l'empirisme américain et de la méfiance à l'égard de l'outil mathématique. Il apparut pourtant que, pour le cas des revêtements en béton, cette méfiance s'appuie sur un nombre important d'échecs qu'ont mis en évidence l'accroissement permanent sur les grands itinéraires du trafic et du poids unitaire des véhicules, et l'apparition d'un phénomène jusqu'ici négligé : le pompage (pumping).

L'ampleur du problème apparaît dans les études dont nous avons pu avoir connaissance :

a) Des essais systématiques effectués par le Highway Research Board de 1949 à 1952 qui ont consisté à étudier l'action de

250 000 passages de véhicules de poids différents sur quatre sections d'un tronçon de route en béton de 2 km dans le Maryland.

b) Une enquête effectuée dans l'Ohio sur toutes chaussées bétonnées de l'Etat, qui a comporté le relevé de toutes les fissures de dalles sur 900 km de chaussée et l'étude systématique des sols de fondation sur 100 km.

Les épaisseurs des revêtements rigides étaient jusqu'ici déterminées par application des formules de Westergaard, formules couramment utilisées en France, et qui consistent à calculer par les formules de l'élasticité les contraintes du béton à partir d'un module de réaction du sol déterminé expérimentalement.

L'application des calculs montre que l'épaisseur de béton nécessaire à assurer un trafic de poids donné, augmente peu quand la qualité du support diminue.

L'économie a donc conduit à utiliser le sol naturel simplement nivelé comme support et à renoncer à toute fondation. De fait, tout a bien marché tant que le trafic est resté réduit. Les premiers désordres ont commencé à apparaître dans les États industriels de l'Est et du Middle West avec l'augmentation de la circulation et du tonnage et s'accroissent à une allure exponentielle.

Le mécanisme en est le suivant :

L'eau des pluies s'infiltra dans les joints; les extrémités des dalles sous le passage des roues forment ressort et éjectent brutalement cette eau entraînant des particules fines et déchaussant les rives qui sont alors en porte à faux, et se fissurent par manque de support.

Les vides sont d'amplitude faible et à peine visibles à l'œil. Toutefois, les essais montrent que les déformations d'angle sous une roue de 20 t, passent ainsi de 0,6 mm à 5 mm.

Si nous résumons tous les essais dont nous avons eu connaissance, on arrive aux conclusions suivantes :

a) Le phénomène obéit à des lois voisines de celles de Wöhler pour la fatigue; il n'apparaît que sous des charges par essieu égales à 14 000 livres (6,5 t environ).

Sur des sols limoneux (classes A.7 de la classification du Highway Research Board), il faut, pour provoquer la première fissure, environ 200 000 passages de l'essieu de 18 000 livres (8,2 t environ) 85 000 passages de l'essieu de 22 400 livres (10,2 t environ).

b) Le soulagement apporté par les essieux jumelés est faible;

ceux-ci se comportent presque comme un essieu unique, supportant le poids total.

c) Seuls sont affectés les sols contenant une proportion sensible d'éléments fins. Les sols contenant plus de 55 % de sable et gravier, et ayant un indice de plasticité inférieur ou égal à 6, ne semblent pas affectés. Les sols de la classe A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> ne le sont certainement pas.

d) Le goujonnage des dalles, négligé pendant la guerre aux U.S.A., améliore la résistance au pompage en réduisant les déformations.

e) L'épaisseur de matériau granulaire sous la dalle nécessaire pour s'opposer à l'entraînement des fines, semble assez mal définie. Dans l'Ohio, on estime que 10 cm d'apport seraient suffisants.

D'autres techniciens sont plus sceptiques et estiment que 20 cm seraient indispensables.

De même, la stabilisation au ciment du sol de fondation semble, dans les zones où l'on manque d'agrégats, offrir une fondation convenable et suffisante pour s'opposer au pompage.

f) L'augmentation de l'épaisseur du béton de la dalle ne joue aucun rôle marquant.

#### Références.

- [1] Highway Research Board. Road test one. MD. 9 mai 1952.  
 [2] KANER (T. J.) et SCHAENBLIN (L. E.), A survey of pumping in Ohio.

## IX. — APPAREILS DIVERS IMAGINÉS RÉCEMMENT

### Appareil pour prise d'échantillons en profondeur.

Un ingénieur appareil de prise d'échantillons a été imaginé par le professeur J. O. OSTERBERG de l'Université de Northwestern, Evanston (Illinois).

Il est construit par Soil Testing Service Inc., 4520 W. North Avenue à Chicago et a été reconnu extraordinairement efficace pour l'extraction ininterrompue de carottes dans des sols d'argiles dures ou molles, aussi bien que de silts fins ou de sables grossiers pouvant même renfermer quelques graviers.

Le diamètre de la carotte peut atteindre 125 mm, sa longueur 1,20 m.

Le croquis et le schéma de fonctionnement sont indiqués figure 3.

On descend le corps de l'appareil dans le trou de sondage nettoyé, la tête fixe du piston prend appui sur le sol.

Toute rentrée de sol souillé dans le carottier se trouve interdite.

Sous l'effet d'une pression d'eau appliquée par l'intermédiaire du tube creux de guidage, la chemise mobile, attachée à la tête du piston mobile et guidée par le piston fixe sur laquelle elle couisse, s'enfonce dans le sol.

Lorsque le tube carottier a atteint son plein développement, l'eau qui a rempli la chambre de compression est évacuée par la tubulure centrale, la pression d'eau se trouve automatiquement réduite. On tourne alors l'ensemble d'une demi-révolution, l'échantillon est libéré de sa base.

#### Avantages présentés par ce carottier.

Le piston fixe de base du tube évite toute pénétration de matériaux étrangers, il peut permettre de placer le carottier dans le trou de sondage même si des boues y subsistent, pendant et après le nettoyage; il s'oppose à toute entrée de sol excédentaire.

Si la résistance à l'enfoncement risque d'empêcher la pénétration du sol dans le carottier, la pression sur le piston se trouve réduite.

Il est facile d'obtenir un carottage continu à 100 %.

Quand on extrait le carottier du sondage, l'échantillon ne peut s'échapper du tube qui le contient.

Le temps nécessaire à la fixation des tiges de guidage est

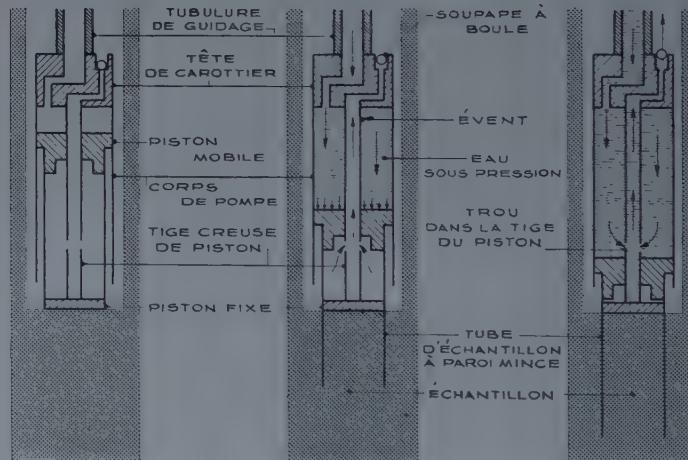


FIG. 3. — Schéma de l'appareil pour prise d'échantillons en profondeur.

réduit au minimum, un seul jeu de tiges est utilisé pendant tout le temps de l'extraction.

La poussée hydraulique utilisée est facilement contrôlable et réglable.

Aucun fractionnement de la carotte ne peut se produire, le carottier ne pouvant être extrait avant qu'il ait atteint son développement maximum. Les à-coups en cours d'enfoncement sont éliminés.

Si un gravier, un caillou de trop grande dimension, une couche dure sont atteints, le tube est stoppé si la pression est insuffisante pour les pousser plus profondément.

Le développement partiel peut encore permettre d'obtenir le carottage à 100 %.

Une pompe à main est suffisante. Pour des extractions de sol moyennement dur entre 7 et 24 cm de profondeur, on a utilisé des tubes en tôle de 3/10 de millimètre, la pression n'a pas dépassé 18 kg/cm<sup>2</sup>.

(Reproduction interdite.)

## ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N° 67-68.

Série : QUESTIONS GÉNÉRALES (XXI).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 27 JANVIER 1953

SOUS LA PRÉSIDENCE DE M. J.-L. BONNENFANT,

Directeur Honoraire des Travaux Publics de Tunisie,  
Directeur des Bases Aériennes au Ministère des Travaux Publics.

# QUELQUES ASPECTS DE LA PROSPECTION ET DE L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Par M. Jean ARCHAMBAULT,

Licencié ès Sciences, Ingénieur géologue E. N. S. P.

## SOMMAIRE

	Pages.
Avant-propos .....	658
Prospection géophysique .....	659
Cartes phréatiques .....	660
Sondages de reconnaissance et carottage électrique .....	663
Exploitation des nappes par sondages développés .....	665
Exploitation des nappes par captages horizontaux .....	667

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

## ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

Je suis très heureux aujourd'hui de vous présenter mon ami ARCHAMBAULT qui doit vous faire une conférence sur des problèmes d'hydrogéologie et d'hydrologie.

Il y aura bientôt 17 ans que j'ai été amené à connaître M. ARCHAMBAULT, à la fois comme camarade et collaborateur dans ma carrière professionnelle en Afrique du Nord.

M. ARCHAMBAULT, licencié ès Sciences, et diplômé de l'École du Pétrole a commencé sa carrière de géologue en Afrique Noire pour le compte du Service Géologique de la France d'Outre-Mer. Ceux qui connaissent l'A. O. F. et qui ont eu l'occasion d'étudier les cartes géologiques de cette région retrouveront le nom de M. ARCHAMBAULT sur plusieurs d'entre elles, notamment en Côte d'Ivoire.

M. ARCHAMBAULT est ensuite revenu à ses premières amours qui étaient les pétroles. C'est à cette occasion que je l'ai rencontré lorsqu'il servait au SEREPT. Un jour de 1940, il a abandonné les pétroles pour passer à l'ennemi qui, en l'occurrence, était l'Hydraulique, et il

est devenu Chef du Service Hydrogéologique de la Direction des Travaux Publics de Tunisie, puis en 1945, Chef du Service Géologique de cette même Direction. De 1941 à 1947, il a eu l'occasion d'effectuer un certain nombre d'études magistrales sous l'autorité de M. l'Inspecteur Général GOSSELIN qui est l'un des Maîtres de l'Hydrologie moderne. Puis il a quitté la Tunisie pour s'installer à Paris comme ingénieur-géologue-conseil indépendant et il a essayé de faire prévaloir dans les milieux de l'Administration et de l'Entreprise française un certain nombre de techniques mettant la Géologie à la disposition des recherches hydrauliques et du Génie Civil, dont il avait fait avec maîtrise quelques applications magistrales en Afrique du Nord.

Je tiens à souligner combien je suis heureux aujourd'hui de pouvoir vous présenter la conférence de M. ARCHAMBAULT qui va vous dévoiler un certain nombre de questions qui sont classiques en dehors de la France mais peu connues dans notre pays.

Je passe la parole à M. ARCHAMBAULT.

## EXPOSÉ DE M. J. ARCHAMBAULT

### Avant-propos.

Il y a longtemps que les problèmes relatifs à la genèse et à la circulation des eaux souterraines préoccupent les hommes, mais il n'y a pas très longtemps, quelques dizaines d'années peut-être, que les techniques les concernant sont entrées dans le domaine scientifique, suivant en cela les progrès de disciplines connexes, la géologie en particulier. Cette évolution s'est précipitée à une date assez récente, sous l'influence d'un certain nombre de facteurs. On doit citer notamment les progrès considérables qui ont été faits en matière de recherche de pétrole; la prospection de l'eau, dont les conditions de gisement et de migration dans le sous-sol sont assez analogues, devait largement en profiter.

Par ailleurs, de plus en plus de gens sont devenus consommateurs et leurs exigences en matière de potabilité de l'eau se sont accrues. On ne se contente plus comme jadis d'eaux brutes de rivières ou de puits pollués.

Tant et si bien qu'on commence à parler, un peu partout dans le monde, et pas seulement dans les régions très peuplées ou particulièrement défavorisées du point de vue hydrogéologique, d'un véritable déficit en eau souterraine. Les conséquences de cet état de choses sont nombreuses et sortent pour la plupart du cadre de cet exposé. Je voudrais tout de même souligner ici que ce problème a une importance économique et sociale considérable et qu'il impose de travailler dans la matière avec le maximum d'efficacité.

Or que constatons-nous en France à ce point de vue ?  
1<sup>o</sup> Les spécialistes confirmés en la matière sont très peu nombreux, voire rarissimes; 2<sup>o</sup> les différents milieux tant administratifs que privés intéressés à ces questions ignorent très souvent quelles techniques sont à mettre en œuvre. Il en résulte que les méthodes employées, presque autant que jadis, sont plus ou moins improvisées et inadaptées, qu'elles sont insuffisamment spécialisées et qu'en définitive, elles se soldent par des échecs.

### RÉSUMÉ

L'importance croissante sur le plan économique et humain des problèmes d'alimentation en eau et le déficit déjà perceptible, un peu partout dans le monde, des ressources en eau, font souhaiter que les divers milieux intéressés à ces questions soient exactement informés des méthodes les plus rentables d'étude et d'exploitation des eaux souterraines. L'auteur de la conférence passe en revue ceux de ces procédés qui méritent d'être mieux connus et plus souvent employés.

La prospection géophysique, sans déceler l'eau en tant que telle, rend les plus grands services pour la recherche de l'eau. Il en est de même de l'établissement des cartes phréatiques, employées en France dès avant 1882, mais un peu oubliées,

bien que leurs applications soient multiples. L'auteur en cite des exemples, relatifs à la nappe alluviale de l'Huveaune près de Marseille, à celle de la Durance, et à des plaines de Tunisie.

Les sondages de reconnaissance sont de plus en plus souvent exécutés au rotary, l'identification des terrains étant réservée au carottage électrique (méthode Schlumberger).

Quant à l'exploitation des nappes, il y a lieu de souligner l'importance des débits obtenus par « sondages développés », consistant en la mise en place progressive d'un important massif de gravier. Dans d'autres cas, c'est la méthode de captage horizontal dite des « Puits Ranney » qui donne les meilleurs résultats.

ou par des dépenses inutiles, quelquefois considérables.

Si l'on voulait rechercher les raisons de cet état de choses, on trouverait probablement à la base une lacune de notre enseignement supérieur. On ne parle pas, ou on parle très peu et très mal, dans les Facultés et dans les grandes Ecoles françaises d'Ingénieurs, des problèmes d'eau souterraine.

Je crois, par ailleurs, que nous vivons à l'époque de la spécialisation et que des formules spécialisées sont ici seules valables. Il y a longtemps pour ma part que je préconise la création d'un Institut, d'une École ou d'un Centre de l'Eau, dans lequel une place de choix serait faite aux problèmes d'eau souterraine, et qui formerait de véritables spécialistes : hydrogéologues, ingénieurs, sondeurs hydrauliciens, hydrogéophysiciens, etc. Je crois que cela permettrait d'éviter beaucoup de ces errements qu'un technicien, je vous l'avoue, ne peut pas voir bien souvent sans que ses cheveux se dressent sur sa tête.

Je pourrais épiloguer longtemps. Je me contenterai de vous donner lecture d'un prospectus que j'ai trouvé dans mon courrier il y a exactement trois jours.

Ce prospectus est relatif à un appareil sensationnel dont je vais vous donner les caractéristiques. La lettre est ainsi conçue :

« Monsieur, veuillez trouver ci-joint quelques renseignements sur mon appareil trouveur d'eau. Comme vous pouvez le constater par la gravure ci-contre, il ne s'agit ni d'un pendule, ni d'une baguette, mais d'un appareil scientifique construit spécialement pour la découverte des points d'eau souterrains. L'appareil est robuste, indéréglable, inusable, son poids est de 8 kg environ. Il ne demande le concours d'aucun instrument accessoire autre que la boussole et le chronomètre. Il suffit de le placer sur le terrain à prospector en plein soleil, de le laisser chauffer pendant 2 heures. Toutes les minutes le changer de place, la présence d'un point d'eau met en marche l'aiguille qui indique le débit et la profondeur du point d'eau. Il peut être mis entre les mains des moins expérimentés et sans aucune connaissance spéciale. Prix des divers genres d'appareils : n° 1 pour la profondeur de 1 à 66 m : 200 000 F; n° 2 : 250 000 F; n° 3 : 300 000 F ».

Il y a également une variante d'appareil pour découvrir le pétrole, mais cette fois les prix sont en livres. On ajoute d'ailleurs que ces prix établis en livres peuvent être transformés en francs français le jour de la livraison. *In fine*, la phrase suivante : « Ces prix qui, à première vue, paraissent élevés, ne sont pas en rapport avec les grands services que l'appareil peut rendre. Cette somme peut être récupérée largement dès la première année

car le fonctionnement de l'appareil est absolument garanti. »

Eh bien, Messieurs ! de deux choses l'une : ou bien cet appareil rend effectivement les services annoncés, et alors sa valeur réelle n'est sans doute pas 200 000 F, mais 200 millions ou bien il ne marche pas et ne vaut même pas 200 F. Je crois, malheureusement, pouvoir déduire de la lecture de ce prospectus qu'un certain nombre d'hommes bien intentionnés et de culture non négligeable se décideront à faire l'acquisition de cet appareil...

Pour ma part, à défaut des miracles qu'un tel appareil, s'il fonctionnait vraiment, me permettrait de faire, je me bornerai ici ce soir à passer en revue quelques-uns des procédés de recherche ou d'exploitation des eaux souterraines qui, en raison de leurs multiples et précieuses applications, méritent d'être mieux connus.

### Prospection géophysique.

Parler en détail de la géophysique m'entraînerait loin, et d'ailleurs c'est là affaire de géophysicien beaucoup plus que de géologue. Ceux qui désireraient des renseignements circonstanciés et des exemples les trouveraient dans la petite brochure éditée récemment par la Compagnie Générale de Géophysique, ou dans la conférence faite par J.-J. BREUSSE, au Congrès de Strasbourg de l'Association des Hygiénistes et Techniciens Municipaux.

Je voudrais, pour ma part, souligner d'abord l'importance croissante prise par les techniques géophysiques en matière de recherche d'eau.

Vous savez que ces techniques consistent essentiellement à mesurer, à partir de la surface du sol, un certain nombre de paramètres qui sont les caractéristiques physiques du sous-sol au point considéré. Il y a trois méthodes principales : la gravimétrie qui est basée sur les variations de la densité des terrains, la méthode électrique qui étudie leur résistivité et la méthode sismique qui mesure la vitesse de propagation d'ondes explosives.

Ce sont ces paramètres physiques qui permettent d'identifier les formations du sous-sol, compte tenu de ce que chaque type de terrain a ses caractéristiques propres. Par exemple, un calcaire est résistant et une marne est conductrice; un granit est dense et une formation sédimentaire généralement légère; un grès dur propage rapidement les ondes explosives, tandis qu'un sable meuble les propage lentement, etc.

Pour la prospection des eaux souterraines, c'est presque toujours la méthode électrique qui est employée,

### SUMMARY

The increasing importance, in its economic and social aspects, of water supply and the already perceptible deficiency of water resources nearly everywhere throughout the world, make it desirable that the different bodies interested in this problem be thoroughly informed as to the most efficient methods of investigating and using ground water.

Geophysical prospection, although it does not detect water as such, is of great service in the search for water. The same is true of phreatic maps, used in France since 1882, but somewhat forgotten since that time, although their application are manifold. The author gives some examples such as the alluvial

water tables of the Huveaune near Marseille, that of the Durance and those of the Tunisian plains.

The exploration borings are ever more performed through rotary drilling, the soil identification being done by electric core extraction (Schlumberger method).

As to the tapping of the water layers it is not amiss to stress the quantity of flow obtained by "developed borings" consisting of progressive placing of a large gravel mass. In other cases, the method of horizontal water collection, called "Ranney Wells" method, is what gives the best results.

quelquefois d'ailleurs, et de plus en plus, combinée avec la méthode sismique légère, dite sismique réfraction, qui nécessite de moins grands sondages et une moindre dépense d'explosifs que la méthode sismique normale.

Je vous ai dit tout à l'heure que le principe de la prospection électrique était de mesurer la résistivité du sous-sol en y faisant passer un courant électrique. Le principe est le suivant : deux électrodes plantées dans le sol, on fait passer un courant. Le sous-sol est ainsi exploré sur une certaine profondeur, dont l'expérience prouve qu'elle est sensiblement égale à la moitié de la distance séparant les deux électrodes. Vous imaginez qu'en mesurant la différence de potentiel aux deux bornes on peut avoir une idée de la résistance (résistivité) moyenne du terrain exploré.

En fait on ne procède pas tout à fait comme cela : on envoie bien le courant dans les deux électrodes, mais la mesure se fait en deux points situés de part et d'autre du centre du dispositif et très proches de lui.

Il y a deux techniques d'emploi. La première consiste à écarter progressivement du centre du dispositif les électrodes d'envoi. Au fur et à mesure que la longueur de ligne augmente, la profondeur d'investigation croît. C'est la méthode dite du « sondage électrique ». En fonction des variations de longueur de ligne, la résistivité mesurée varie elle aussi. On porte ces mesures sur un diagramme logarithmique; la courbe obtenue donne la résistivité en fonction de la longueur de ligne, c'est-à-dire de la profondeur. Le second procédé consiste à agir non plus avec une ligne variable, mais avec une ligne constante qu'on déplace sur le terrain. C'est la méthode dite des traînés. Supposons qu'on ait affaire, au-dessous d'une couverture d'alluvions, à des marnes conductrices à intercalations calcaires résistantes. La méthode des traînés permet de délimiter les zones de résistivité accrue, qui correspondent précisément à la présence du calcaire sous les alluvions.

Comme la plupart des techniques — on peut même dire comme toutes les techniques — la géophysique a des possibilités limitées. Il est utile de les connaître approximativement, pour ne pas lui poser des problèmes insolubles. Mais il est plus important encore de savoir que jusqu'à présent la géophysique, moins savante que l'appareil miracle de tout à l'heure, ne détecte pas l'eau en tant que telle dans le sous-sol, mais seulement les caractéristiques physiques de ce dernier. C'est de ces paramètres physiques qu'on déduit la géologie profonde et, corrélativement, les caractéristiques hydrologiques du sous-sol.

Ceci vous indique tout de suite que le point délicat de la géophysique est l'interprétation géologique des données physiques. Cette interprétation nécessite une étroite collaboration entre le géophysicien qui doit être compétent en géologie et le géologue qui doit avoir une bonne connaissance des procédés géophysiques. Habituellement, c'est d'ailleurs l'étude géologique qui précède et qui indique s'il y a lieu ou non de compléter les données de l'investigation de surface par une étude géophysique.

Je répète que la géophysique ne peut pas tout. Certains problèmes sont résolus admirablement. Je pense notamment aux problèmes classiques de la méthode électrique que constitue la recherche du contact entre une nappe d'eau salée et une nappe d'eau douce, ou l'étude de la topographie souterraine du substratum marneux d'alluvions résistantes. D'autres problèmes, par contre, sont insolubles ou obligent à avoir recours, soit à plusieurs

procédés géophysiques susceptibles conjointement de lever l'indécision, soit aux sondages mécaniques.

### **Cartes phréatiques.**

Une carte phréatique est la représentation en courbes de niveaux de la surface libre d'une nappe. Ces courbes sont désignées quelquefois sous le nom de courbes isopiezométriques.

Le procédé n'est pas nouveau. Dès 1882, une « carte hydrologique du département de la Seine » avait été dressée et publiée par M. DELESSE, Inspecteur Général des Mines, membre de l'Institut ; elle donne les courbes de niveaux des principales nappes libres des environs de Paris.

Malgré ces lettres de noblesse, les cartes phréatiques sont très peu employées en France, sauf en Alsace, parce que dans cette région les échanges sont très actifs avec la Suisse et l'Allemagne qui, précisément, utilisent couramment la méthode.

Bien entendu, il n'est pas toujours possible de dresser une carte phréatique. D'abord, il faut avoir une nappe libre ; les nappes captives, c'est-à-dire surmontées d'un toit imperméable, ne sont pas justiciables de l'emploi, du procédé. De même les nappes en réseaux, celles des massifs calcaires où les circulations sont trop irrégulières et discontinues pour qu'on puisse en règle générale employer la méthode. D'autre part, il est nécessaire de disposer de données topographiques assez précises. Il faut disposer soit d'un nivellement des points d'eau, soit d'une bonne carte topographique, ce qui est d'ailleurs le cas dans une fraction importante du territoire métropolitain, avec la nouvelle carte en courbes de niveaux de l'Institut Géographique.

Comment fait-on pour établir cette carte ? On relève les différents points d'eau de la région appartenant à la nappe. On détermine l'altitude du sol en chaque point considéré à partir des documents topographiques dont on dispose, puis on mesure la profondeur de l'eau et on en déduit la cote absolue du plan d'eau. On obtient ainsi un certain nombre de points cotés qu'on réunit par des courbes figuratives du relief de la nappe, exactement comme le fait un topographe pour une carte topographique.

Je crois que chaque fois que la chose est possible, une étude sérieuse ne peut se passer de dresser la carte phréatique. Pourquoi ? Parce que des renseignements nombreux, d'ordre très divers et très importants sont à en attendre.

La carte phréatique est en effet un document qui donne immédiatement, par simple lecture, la position de la nappe en un point quelconque. On peut en déduire beaucoup de choses sur la perméabilité de la formation aquifère en fonction de la pente. Quand la pente d'une nappe change brusquement, c'est neuf fois sur dix que les formations encaissantes ont changé. La carte phréatique indique encore le mode d'écoulement de la nappe : comme le ruissellement sur une surface topographique, cet écoulement se produit selon la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire normalement aux courbes de niveau de la nappe. On peut également déduire de la carte phréatique le processus d'alimentation de la nappe ; on voit d'où vient la nappe et où elle va et l'on peut déceler les échanges existant entre la nappe et certains plans d'eau superficiels.

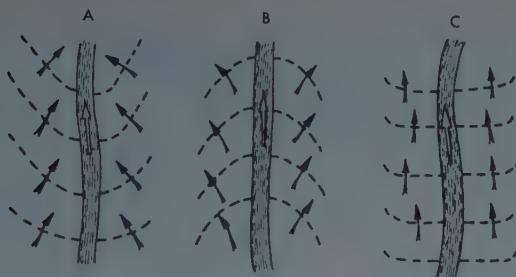


FIG. 1. — Schéma des échanges entre une rivière et une nappe.

Voici, par exemple, à la figure 1, le schéma des échanges entre une rivière et une nappe. Si les courbes ont la forme dessinée en A, l'écoulement de la nappe se faisant perpendiculairement à ces courbes suivant les flèches, c'est qu'on a affaire au schéma classique d'une nappe alluviale alimentant une rivière. En B, c'est le cas inverse : la rivière est perchée par rapport à la nappe, les lignes d'écoulement, perpendiculaires aux courbes de niveaux, s'écartent de la rivière qui alimente la nappe. En C, nous avons le cas intermédiaire : la nappe et la rivière cheminent parallèlement sans échange appréciable.

Les indications de la carte phréatique, nombreuses et variées, peuvent être quelquefois très différentes de la recherche proprement dite de l'eau souterraine; les terrains d'aviation posent, par exemple, de tels problèmes. La connaissance de la position de la nappe par rapport au sol, y est très importante, car des phénomènes d'imbibition par remontée capillaire peuvent se produire et rendre problématique la stabilité des revêtements. La méthode de la carte phréatique permet de déduire d'un nombre de points d'eau parfois très réduit, les zones dangereuses à surveiller ou à traiter, par drainage ou autrement.

Voici d'ailleurs quelques exemples précis de l'utilisation des cartes phréatiques.

La figure 2 représente la plaine alluviale de l'Huveaune, rivière qui prend naissance dans le massif de la Sainte-Baume et se jette dans la Méditerranée au sud de Marseille. Dans la région d'Aubagne, la plaine alluviale de l'Huveaune s'étale très largement. Dans la partie nord et ouest de ce triangle d'alluvions le substratum est constitué par des marnes oligocènes imperméables. Par contre, au sud et à l'est de la plaine, il est constitué par des calcaires très fissurés, à circulation karstique. Les courbes de niveau, immédiatement à la sortie du débouché, montrent que l'Huveaune est en charge par rapport à la nappe. Dans cette zone, c'est la rivière qui alimente la nappe. L'abaissement des courbes de niveau montre qu'à partir de cette zone la nappe s'écoule vers le sud. A l'extrême sud-est de la plaine, les puits creusés au contact des calcaires ne retrouvent plus la nappe. Cette rupture de la surface phréatique provient de ce que les fissures des calcaires urgoniens absorbent l'eau de la nappe alluviale pour la rejeter ailleurs. Évacuation nullement mystérieuse d'ailleurs : il y a dans la région de Cassis, en bordure de la mer et dans la mer même, des sources sous-marines d'eau douce qui sont indubitablement alimentées par la nappe en réseau des calcaires urgoniens et donc en partie par la plaine alluviale de l'Huveaune.

La nappe alluviale, court-circuitée par les calcaires, se trouve ainsi déviée de son écoulement normal. Au lieu

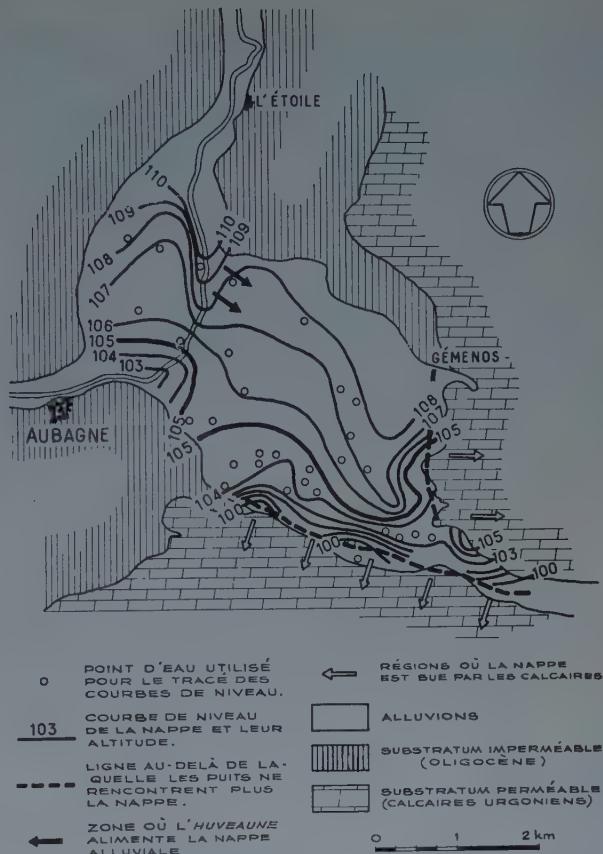


FIG. 2. — Nappe de l'Huveaune.

de gagner la mer par le cours de l'Huveaune, elle y va directement par un trajet plus court. Ce processus hydrologique original est mis en évidence avec une parfaite clarté par la carte phréatique.

Un autre exemple illustrant l'utilité de la carte phréatique est l'histoire du Seuil de Lamanon.

Le Seuil de Lamanon est un couloir topographique reliant la plaine alluviale actuelle de la Durance (qui se jette dans le Rhône) à un ancien delta de la rivière, la plaine de la Crau. La nappe phréatique de la plaine de la Crau a fait l'objet, en 1930 à Marseille, d'un congrès scientifique qui a mis en évidence l'importance de son débit final :  $4 \text{ à } 10 \text{ m}^3/\text{s}$  d'après certains calculs, chiffre admis comme ordre de grandeur par la plupart des rapporteurs.

En ce qui concerne l'origine de la nappe de la Crau, l'unanimité fut moins complète. Un certain nombre d'observateurs prétendaient que la nappe avait une origine banale. Pour d'autres, au contraire, elle était alimentée par une dérivation souterraine de la Durance actuelle, à travers le Seuil de Lamanon. Tel était notamment l'avis de l'Ingénieur du Génie Rural PORCHET dont les travaux d'hydraulique mathématique font autorité et qui présentait d'ailleurs une remarquable et très originale étude par le calcul de la nappe de la Crau. Il semblait à PORCHET que le débit de la nappe ne pouvait s'expliquer par un processus normal d'alimentation.

Un certain nombre d'observateurs furent de cet avis (pour ne pas parler de sourciers comme l'abbé MERMET) et il sembla en définitive que la majorité du congrès se ralliait à cette opinion.

Les choses en restèrent là jusqu'en 1947, année où le Ministère de la Reconstruction, désireux d'alimenter en eau certaines communes des bords de l'étang de Berre, voulut prospector le « fleuve souterrain » de Lamanon et en utiliser l'eau. Deux sondages de recherche furent effectués et se soldèrent tous les deux par un échec : à la place du fleuve souterrain, la sonde rencontra des terrains imperméables.

C'est alors qu'à la demande du Ministère nous entreprimes de dresser la carte phréatique du Seuil même de Lamanon, secteur inexplicablement laissé de côté lors des études de 1930 : on avait étudié la Crau, mais on s'était borné à légiférer sur le Seuil de Lamanon, sans aller voir ce qui s'y passait.

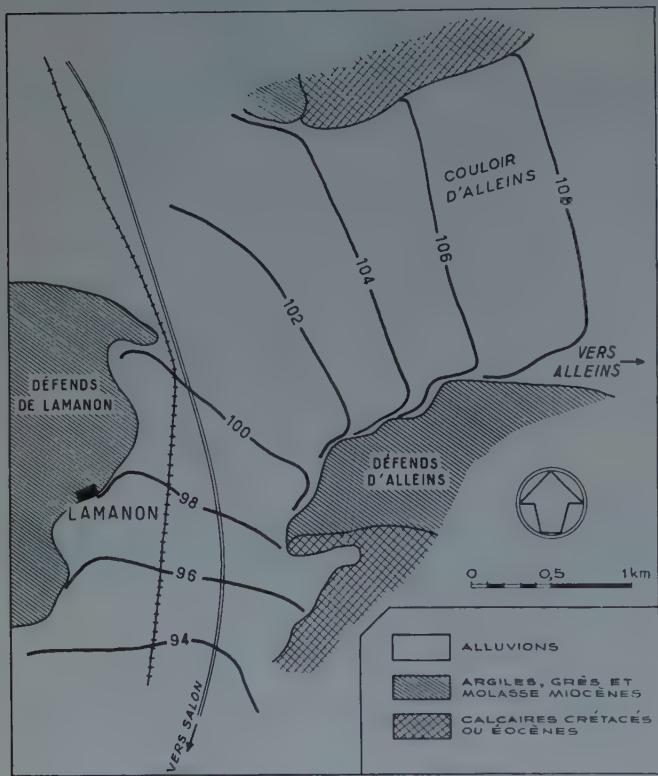


FIG. 3. — Seuil de Lamanon. Cas d'un gros débit.

La figure 3 montre la constitution géologique schématique du Seuil de Lamanon : c'est un couloir alluvial encadré par les deux massifs miocènes qui constituent les Défends de Lamanon, massifs non pas totalement imperméables, mais infiniment moins perméables que les alluvions de la Durance du couloir central. Si par ce couloir s'écoulait un gros débit, les courbes de niveau auraient la forme indiquée par la figure.

En réalité, la forme de la surface phréatique est celle que représente la figure 4. Les courbes entourant les Défends indiquent une alimentation des alluvions en provenance de ces massifs. Dans l'axe même du Seuil, à partir d'un point donné, on constate que l'écoulement

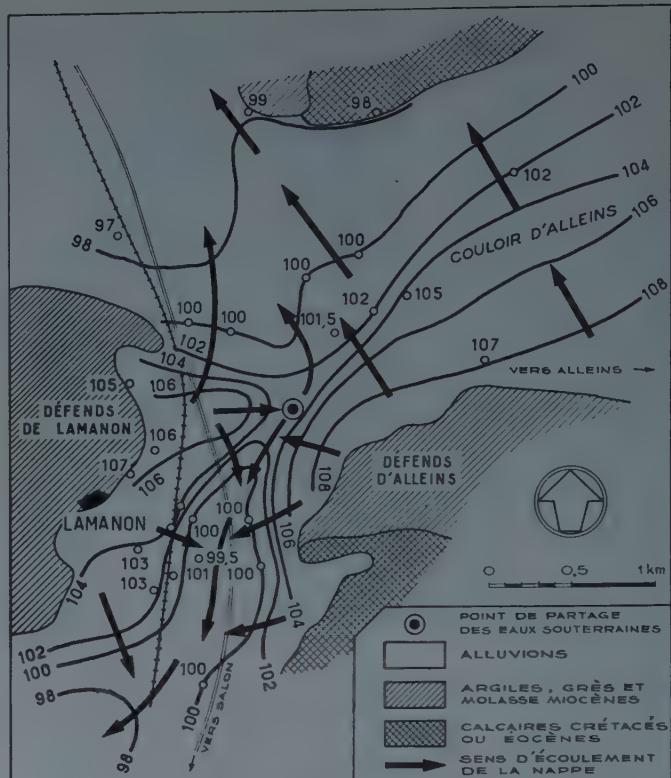


FIG. 4. — Seuil de Lamanon. Surface phréatique réelle.

se produit soit vers le nord, en direction de la nappe actuelle de la Durance, soit vers le sud, en direction de la nappe de la Crau. Le Seuil de Lamanon est très exactement un point de partage des eaux souterraines et il est absolument impossible d'y faire passer une dérivation tant soit peu importante.

Le problème de Lamanon est redevenu d'actualité tout récemment à cause du projet de l'Électricité de France relatif à l'aménagement de la Basse Durance. On sait que ce projet consiste à prélever à l'aval du Verdon, à une cote de l'ordre de 250 un débit d'environ 200 m³/s représentant la presque totalité des eaux de la Durance, qui seraient amenées par une série de biefs du type Donzère-Mondragon jusqu'à l'étang de Berre. Ce projet de dérivation aurait évidemment supporté au départ une lourde hypothèque dans le cas d'une perte importante à Lamanon. A la demande des milieux agricoles du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône, on procéda à l'exécution de douze sondages mécaniques au Seuil même de Lamanon. Ces travaux ont, comme il fallait s'y attendre, confirmé rigoureusement les données de la carte phréatique et enterré, une fois pour toutes souhaitons-le, le mythe du « fleuve souterrain ».

Le projet précité d'aménagement de la Basse Durance pose d'ailleurs un autre problème, celui du comportement de la nappe même de la Durance après la dérivation des eaux de la rivière. Que se passerait-il à l'aval de la prise dans cette plaine, une des plus riches régions agricoles de la France ?

Pour répondre à cette question, on a mis en œuvre des moyens extrêmement importants et procédé au relevé périodique — hebdomadaire, bi-hebdomadaire, ou jour-

nalier — de 1 500 points d'eau, dont certains ont été observés pendant six années consécutives, soit un total de l'ordre de 300 000 observations. Il est apparu très vite que la meilleure manière de synthétiser cette masse considérable de renseignements était de dresser des cartes phréatiques. D'où le document qui vous est présenté ici avec l'autorisation de l'Électricité de France. Les courbes phréatiques sont dessinées en deux couleurs différentes, selon qu'il s'agit d'une période d'étiage (août 1949) ou de printemps. L'examen de l'inclinaison des courbes phréatiques par rapport à l'axe de la rivière permet de déterminer d'un simple coup d'œil, en fonction du schéma de la figure 1, les rapports existant entre la nappe et la rivière.

En général, le processus est normal et la nappe alimente la rivière. Mais la plaine alluviale comporte un certain nombre de seuils : à leur sortie s'étalent des cônes de déjection au-dessus desquels la rivière est perchée. Grâce à la carte phréatique on a pu délimiter les zones où le processus habituel s'inverse et des mesures sont prises pour suppléer au fait que dans ces zones la rivière n'alimentera plus la nappe. Des expériences très intéressantes de réinjection de la nappe alluviale ont en effet démontré la possibilité de corriger le plan d'eau de la nappe là où cela s'avérera nécessaire.

Il ne s'agit d'ailleurs, répétons-le, que d'un nombre restreint de points. La carte phréatique l'avait prouvé, et on a pu le contrôler par des jaugeages échelonnés du débit de la rivière. En période d'étiage, toute l'eau de la Durance est prélevée à des fins agricoles et son lit est sec lorsqu'elle arrive au Rhône. Mais si l'on fait le total des débits prélevés par les prises agricoles, on constate qu'il est supérieur au débit de la Durance. Du 10 au 20 août 1949, la Durance a reçu en tête (à Mirabeau), 66 m<sup>3</sup>/s mais a fourni aux prises un débit total de 80 m<sup>3</sup>/s, la différence soit 14 m<sup>3</sup>/s étant constituée par les apports de la nappe alluviale. Le bilan est bénéficiaire, comme l'indiquait la carte phréatique.

Les figures 15, 16 et 17, pages 668 à 670 vous montrent d'autres exemples de cartes phréatiques.

La figure 15 représente la plaine de Kairouan, un des plus importants systèmes aquifères du centre de la Tunisie, constitué par l'accumulation de plus de 400 m d'argiles et de sables quaternaires. La nappe prend naissance à la bordure de la plaine, et notamment au débouché d'oueds importants (Zéroud, Marguelil, etc.) qui y épandent leurs eaux de ruissellement. La nappe s'écoule vers la mer, sauf au droit de la Sebkra el Hani, autour de laquelle les courbes se ferment. C'est qu'on a affaire ici à un bassin d'évaporation fermé. On exploite d'ailleurs, dans la Sebkra Sidi el Hani, les couches de sel produites par cette évaporation. Par contre, au niveau de la Sebkra Kelbia, les courbes ne se ferment pas. Effectivement, cette dépression ne se remplit qu'à titre exceptionnel, il ne s'y dépose pas de sel : les eaux de ruissellement percolent à travers elle, et continuent leur trajet vers la mer en direction du nord. Tout ce mécanisme est clairement indiqué par l'examen des courbes phréatiques.

La figure 16 montre le détail de la région nord de la plaine de Kairouan dont je vous ai parlé. C'est un des secteurs où la nappe prend naissance.

La figure 17 se rapporte à la plaine de Grombalia, dans le nord de la Tunisie. C'est un des premiers secteurs explorés par géophysique en Tunisie. Les résultats en avaient paru extraordinaires et lorsque ces études ont été faites, les techniciens avaient eu tendance à

donner tort aux géophysiciens. En fait, des sondages ont confirmé ces données et montré que cette plaine était constituée comme celle de Kairouan par une accumulation très puissante de terrains récents. Les courbes de niveau de la nappe phréatique indiquent que l'alimentation se fait par les bordures et que l'écoulement est dirigé vers la mer.

#### Sondages de reconnaissance et carottage électrique.

A l'heure actuelle, et de plus en plus, le « rotary » (fig. 5), ou sondage par rotation tend, en matière de recherche hydraulique à supplanter le vieux procédé par battage. L'avantage du matériel rotary est sa grande rapidité d'exécution, d'où résulte une bien meilleure tenue des terrains traversés. Inversement, un des inconvénients du rotary c'est la difficulté d'identifier les débris de terrain usés par le trépan et remontés avec la boue. Il est pourtant très important, pour l'exploitation future de situer avec précision les limites des différentes formations.

Comment y remédier ? En ayant recours, pour la recherche de l'eau comme pour celle du pétrole, à la technique du *carottage électrique*. Cette méthode d'investigation présente certaines analogies avec la prospection géophysique par le procédé électrique et, due comme elle aux physiciens C. et M. SCHLUMBERGER, elle est aussi d'invention française. Mais tandis que la prospection électrique consiste en des mesures effectuées à la surface du sol, le carottage électrique se fait à l'intérieur d'un trou de sondage, dans lequel on descend au bout d'un câble un dispositif spécial. On détermine ainsi, avec enregistrement continu, les caractéristiques électriques des terrains recoupés par le forage et cela permet d'identifier les diverses formations. Par exemple, dans un complexe de sables (résistants) et d'argiles (conductrices), le carottage électrique situe avec précision

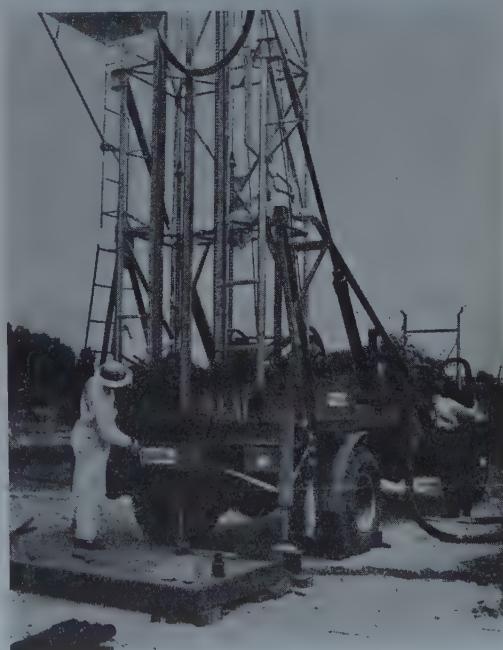


FIG. 5. — Appareil « Rotary » monté sur camion.

le toit et le mur des différentes couches, ce qui rendra possible ultérieurement de placer les crépines d'exploitation au niveau exact où elles doivent l'être.

Le carottage électrique des sondages d'hydraulique, très peu répandu en France métropolitaine, est employé de façon systématique en Afrique du Nord et en A. O. F.

Indépendamment du fait que le rotary fore vite, il présente l'avantage, pour la reconnaissance, d'être monté sur roues. La figure 5 vous montre un matériel de ce type (core-drill). Le camion porte à l'avant un ou deux moteurs utilisés à l'entraînement de l'appareil de sondage. Le derrick servant à la manœuvre des tiges et des colonnes de tubage peut être rabattu sur le camion. L'ensemble est très léger et permet de se déplacer facilement et rapidement.

La figure 6 montre un détail du même appareil, dont il existe pas mal de types, construits en Amérique par un certain nombre de firmes. On aperçoit au bas du derrick les vérins qui servent de manœuvre.

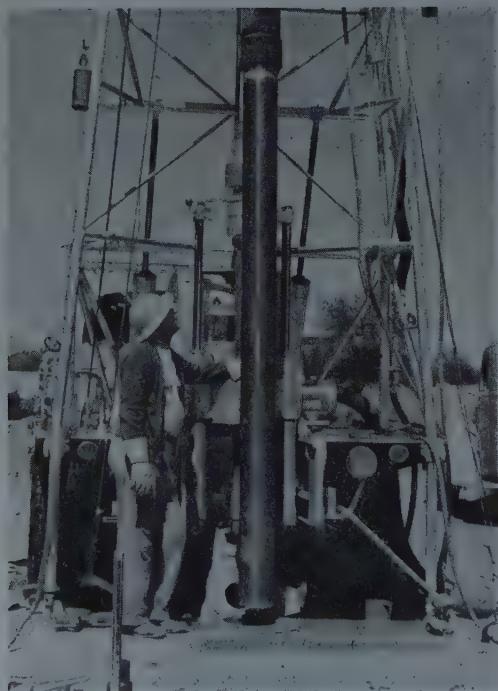


FIG. 6. — La Supply Company of Enid a foré un puits expérimental avec l'une des perforatrices rotatives de la société sur le Yolo Ranch à Oklahoma.

A la figure 7, il s'agit d'un appareil nettement plus puissant et d'ailleurs non mobile, servant moins à la reconnaissance qu'à l'exploitation des nappes aux moyennes profondeurs. La photo est prise en Tunisie, au cours d'essais de pompage. Dans certains pays comme l'Afrique du Nord, il est devenu courant de pratiquer la recherche des eaux souterraines à 600 et 800 m de profondeur et leur exploitation à 500 et 600 m. Il faut un matériel spécialement adapté à ces profondeurs.

La figure 8 montre à côté d'un core-drill Sullivan 200, un treuil de carottage électrique. On y enroule quelques centaines de mètres de câble, terminés par un dispositif qu'une poulie permet de descendre dans le trou.



FIG. 7. — Appareil « Rotary » fixe, de moyenne profondeur.

Les figures 9 et 10 reproduisent l'en-tête et le corps d'un diagramme de carottage électrique exécuté au Sénégal. L'échelle des profondeurs est indiquée au centre. Le carottage électrique n'a débuté qu'à une profondeur déterminée, correspondant à la base du tubage métallique descendu dans l'avant-trou, et au droit duquel toute investigation électrique est impossible. La ligne brisée de la droite du diagramme est la « courbe de résistivité ». Les saillants de cette courbe correspondent aux passées résistantes (sables, par exemple), les méplats aux passées conductrices (argiles). Sur la gauche de la figure, une autre courbe dite de « polarisation spontanée », correspond grossièrement à la porosité des terrains.

On voit que l'examen d'un tel diagramme permet de déterminer avec une précision parfaite les limites des formations.

Aucun procédé d'investigation, sauf le carottage mécanique complet — extrêmement coûteux et toujours aléatoire dans certains terrains — ne donne cette sécurité et cette précision de renseignements. Le carottage électrique s'est d'ailleurs beaucoup perfectionné au cours de ces dernières années, grâce à l'emploi de diverses techniques connexes, très ingénieuses et très variées.

La figure 11 donne la courbe de résistivité de deux sondages voisins de la région de Tunis. L'examen des correspondances des différents niveaux mis en évidence

FIG. 8. — Core-drill Sullivan 200 et treuil de carottage électrique.



CHAMP: RIBOT	COMPAGNIE: T.P. Hydraulique S.N.A.K.
SONDAGE: RIBOT	CHAMP: cercle de KAOLACK
COORDONNÉES:	SCHÉMA DE POSITION
DÉPARTEMENT(PAYS): SÉNÉGAL	Kaffrine Gaine Pélé RIBOT N'Sécolengane Li Boro Bougia
OPERATION N°	REFERENCE: 13
DATE	1
PREMIÈRE LECTURE	3 juillet 1952
DERNIÈRE LECTURE	58
DÉCOUVERT MESURE	347
SABOT (SCHLUMBERGER)	58
SABOT (SONDEUR)	58
PROFONDEUR ATTEINTE	405,60
PROFONDEUR TOTALE(SONDÉE)	403,50
ORIGINE DES PROFONDEURS	Surface du sol
BOUE NATURE	Eau de Jaïnlé. Pélé + bentonite
DENSITÉ	1,130
VISCOSITÉ	
RESISTIVITÉ	7 à 27°C
RESISTIVITÉ B.H.T.	▲ °C
p.H.	▲ °C
EAU LIBRE cm <sup>3</sup> .30 minutes	▲ °C
TEMPÉRATURE MAXIMA	42°C
DIAMÈTRE TRÉPAN	0,431 m (0-298,5)
DIAMÈTRE TUBAGE	0,456 m
DISPOSITIFS:	0,298 m / 298,5 fond)
AM 1	1 m
AM 2	3,30 m
AO	
CANION	Velocim. d'Hydro
OPÉRATEURS	Naloye

FIG. 9. — En-tête d'un diagramme de carottage électrique.

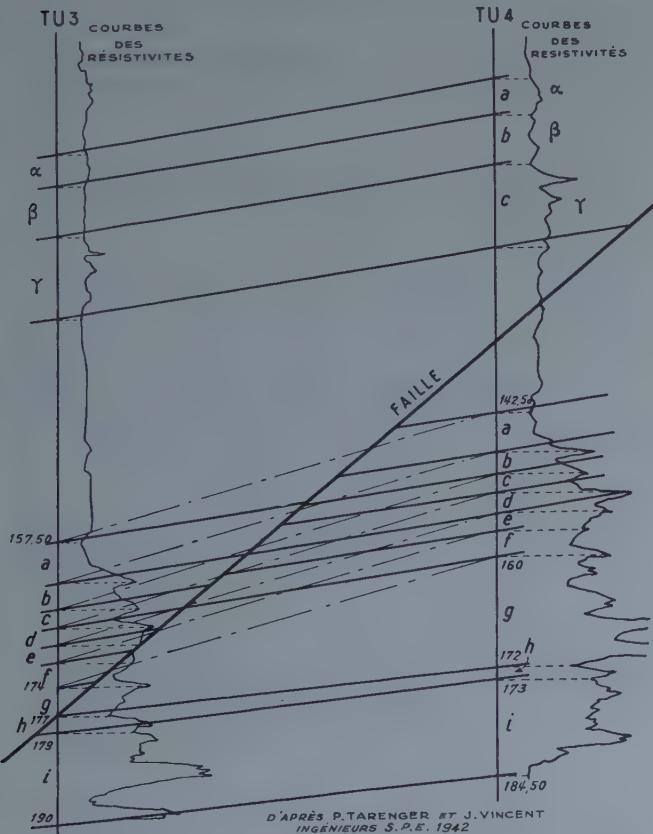
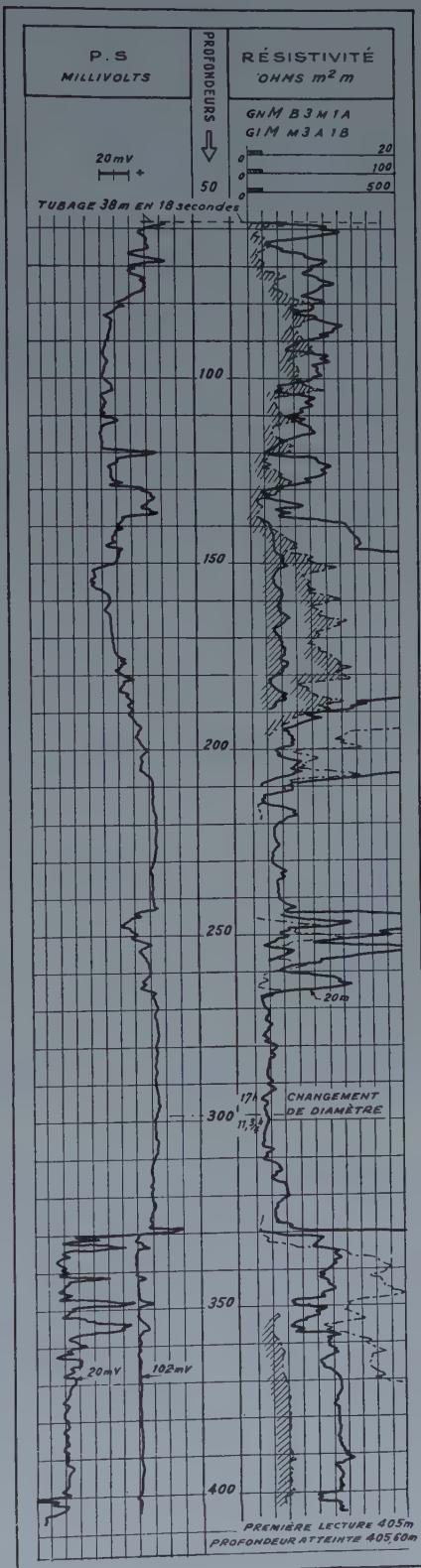


FIG. 11. — Applications du carottage électrique. Détermination du passage d'une faille dans deux sondages des abords du lac de Tunis (Djebel Djelloud).

FIG. 10.  
Diagramme de carottage électrique.



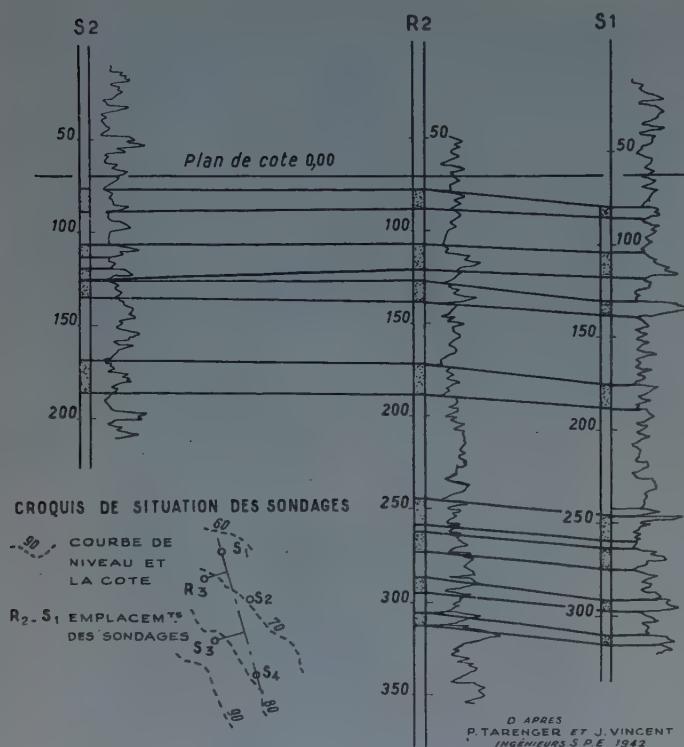


FIG. 12. — Corrélation par carottage électrique des niveaux aquifères profonds de la plaine de Kairouan.

dans les deux sondages montre qu'ils sont séparés par un accident tectonique, qu'aucune autre méthode n'aurait permis de déceler et dont le carottage électrique donne le tracé approximatif.

Dans la figure 12, il s'agit de la plaine de Kairouan, formée d'épaisse alternances d'argile et de sable. Il est impossible d'établir des corrélations par le simple examen des échantillons de sondage. Mais le carottage électrique permet d'en faire, bien qu'il s'agisse de terrains continentaux à formations irrégulières et assez discontinues.

#### Exploitation des nappes par sondages développés.

En terrain meuble dans les sables dits « sables boulants », par exemple, l'exploitation des nappes est toujours considérée comme très difficile. Un procédé ancien et très courant en France consiste à intercaler entre ces terrains et le tube crépiné central une gaine annulaire de graviers, comme l'indique la figure 13. On exécute d'abord le sondage à l'abri d'un tubage maintenant les terrains. On descend ensuite une crêpine, c'est-à-dire un tube percé d'orifices et entre celle-ci et le tube extérieur on intercale des graviers. On enlève ensuite le tube extérieur, et la gaine de graviers reste intercalée entre la crêpine centrale et le terrain.

Ce procédé n'est pas sans inconvénients car la gaine de graviers n'est jamais très épaisse. Dès qu'on pompe

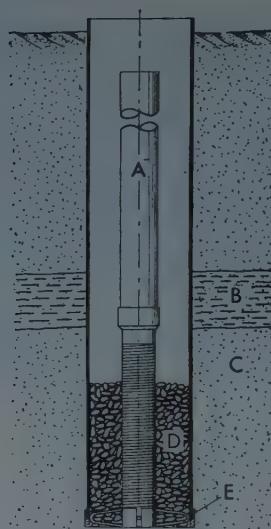


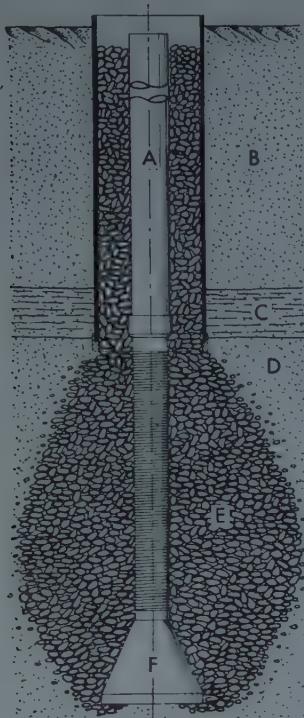
FIG. 13. — Exploitation des nappes en terrain meuble : La crêpine et les graviers intercalés avant l'enlèvement du tube extérieur.

quelque peu dans le sondage, on détermine une venue de sable. La tenue du captage serait vite compromise si l'on ne limitait pas strictement le débit d'exploitation.

Dans le procédé du « sondage développé » on recherche au contraire, en sollicitant énergiquement la nappe, par pistonnage ou par injection d'air comprimé, les venues de sable. On crée ainsi dans le terrain une cavité qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes et qui est progressivement remplie à partir de la surface et par l'espace annulaire, par du gravier calibré. Au lieu d'une gaine annulaire, on a un massif filtrant aussi volumineux que possible (fig. 14).

Cette méthode de captage exige, de la part du sondeur, de la persévérance et beaucoup d'expérience. Mais il présente de grands avantages en raison même de l'épaisseur du massif. En effet, la vitesse des filets d'eau étant moindre à l'exploitation qu'au développement, on n'enregistre plus de venues de sable; la stabilité du terrain est parfaite et la durée du puits considérablement accrue. Par ailleurs, la surface alimentaire correspondant à la périphérie du massif filtrant est augmentée dans des grandes proportions. Enfin, comme le massif est stable on peut exercer une grande dépression sans risquer de compromettre la tenue du captage.

Le résultat est que les débits obtenus par sondage développé sont, couramment, dix fois plus élevés que ceux que donnent les anciennes méthodes. Dans des sables de perméabilité bonne ou moyenne, il est courant d'enregistrer des débits de 50 à 200 m<sup>3</sup>/h, au lieu de 5 à 20 sans développement.



A. TUYAU DE PROLONGEMENT; D. SABLE AQUIFÈRE;  
 B. SABLE FIN; E. AMAS DE GRAVIERS;  
 C. ARGILE SABLONNEUSE; F. CONE.

FIG. 14. — Procédé du « sondage développé ».

Le procédé du sondage développé est d'origine américaine. Introduit par la société Layne, il a été employé en Tunisie il y a 25 ans environ. Son utilisation est maintenant quasi systématique en Afrique du Nord et en Afrique Occidentale Française. L'alimentation en eau de Dakar à partir des dunes de la presqu'île du Cap Vert, se fait au moyen de sondages développés, de même que l'exploitation en de nombreux points du Sénégal, à des profondeurs comprises entre 200 et 400 m, de la nappe du Maestrichtien. Par contre, en France métropolitaine, le procédé est peu connu et les réalisations sont fort peu nombreuses : sondages développés dans la nappe des sablesverts du Bassin de Paris<sup>(1)</sup> et plus récemment, à l'instigation du M. R. U., captages dans les sables pliocènes de la région de Haguenau en Alsace.

### Exploitation de nappes par captages horizontaux.

Certaines nappes sont susceptibles de fournir un débit important, par exemple dans le cas d'alluvions pouvant être réalimentées par une rivière, tout en n'ayant qu'une épaisseur très faible. Dans ce cas les techniques de captage vertical, quelles qu'elles soient, sont évidemment inopérantes. On a essayé d'y remédier en employant les galeries de captage. Mais ce procédé traditionnel est lent et coûteux, de rendement très faible et d'ailleurs quasi impraticable en terrain meuble.

Mis au point vers 1941 en Amérique, les procédés de captage Ranney ouvrent en la matière des perspectives assez intéressantes. Ils consistent à descendre dans la nappe, si possible jusqu'au mur imperméable, un cuvelage étanche. A la base de ce cuvelage, on dispose un certain nombre d'ouvertures fermées par des vannes. Par ces orifices, à partir de l'intérieur du puits, on enfonce dans le terrain, à l'aide de vérins, à l'intérieur de ces orifices des tubes crépinés terminés par une pointe spéciale<sup>(2)</sup>. Les crépines et la pointe sont agencées de telle manière que l'eau s'écoule au travers ainsi que le sable fin lors de l'enfoncement. Cette venue de sable facilite la pénétration des pointes crépinées et réalise en même temps un auto-développement du terrain autour de celles-ci. Il se forme ainsi autour des crépines, lorsque la granulométrie est favorable, un véritable massif de graviers. Comme on peut multiplier ces sondages radiaux et que les enfoncements de l'ordre de 80 m sont courants, on conçoit que des débits considérables puissent être obtenus.

On peut d'ailleurs appliquer la méthode aux terrains compacts, calcaires ou terrains divers fissurés par exemple. Il suffit de substituer à l'enfoncement par vérins l'exécution de sondages horizontaux par un appareil léger descendu au fond du puits.

Les captages horizontaux ne donnent des résultats intéressants que dans des cas bien déterminés : c'est en particulier celui de nappes alluviales peu épaisses, que l'on désire exploiter à très gros débit. Si les conditions sont favorables, ce débit peut être prélevé non seulement dans la nappe elle-même, mais dans la rivière, réalisant ses alluvions au fur et à mesure qu'on y préleve de l'eau. En Amérique, certains puits Ranney ont fourni de 250 à 1 100 l/s à partir d'alluvions dans lesquelles d'autres modes de captage eussent donné des débits sensiblement moins élevés.

Me voici, Messieurs, au terme de mon exposé. Il existe certes, pour l'étude et l'exploitation des eaux souterraines, bien d'autres techniques que celles dont je vous ai parlé. Mon ambition n'était pas d'en dresser un inventaire complet. Mais certains de ces procédés me paraissent mériter une mention spéciale, soit parce qu'ils sont peu connus, soit en raison de la multiplicité et de la rentabilité de leurs applications, soit pour l'une et l'autre de ces deux raisons. C'est de ceux-là que j'ai voulu vous parler ce soir.

<sup>(1)</sup> Auxquels on doit ajouter d'assez nombreuses réalisations, antérieures à 1940, de la Société Layne-France.

<sup>(2)</sup> Le procédé suisse Fehlmann diffère du procédé Ranney en ce que les tubes enfoncés en premier lieu sont extraits du terrain et remplacés par des crépines de diamètre inférieur.

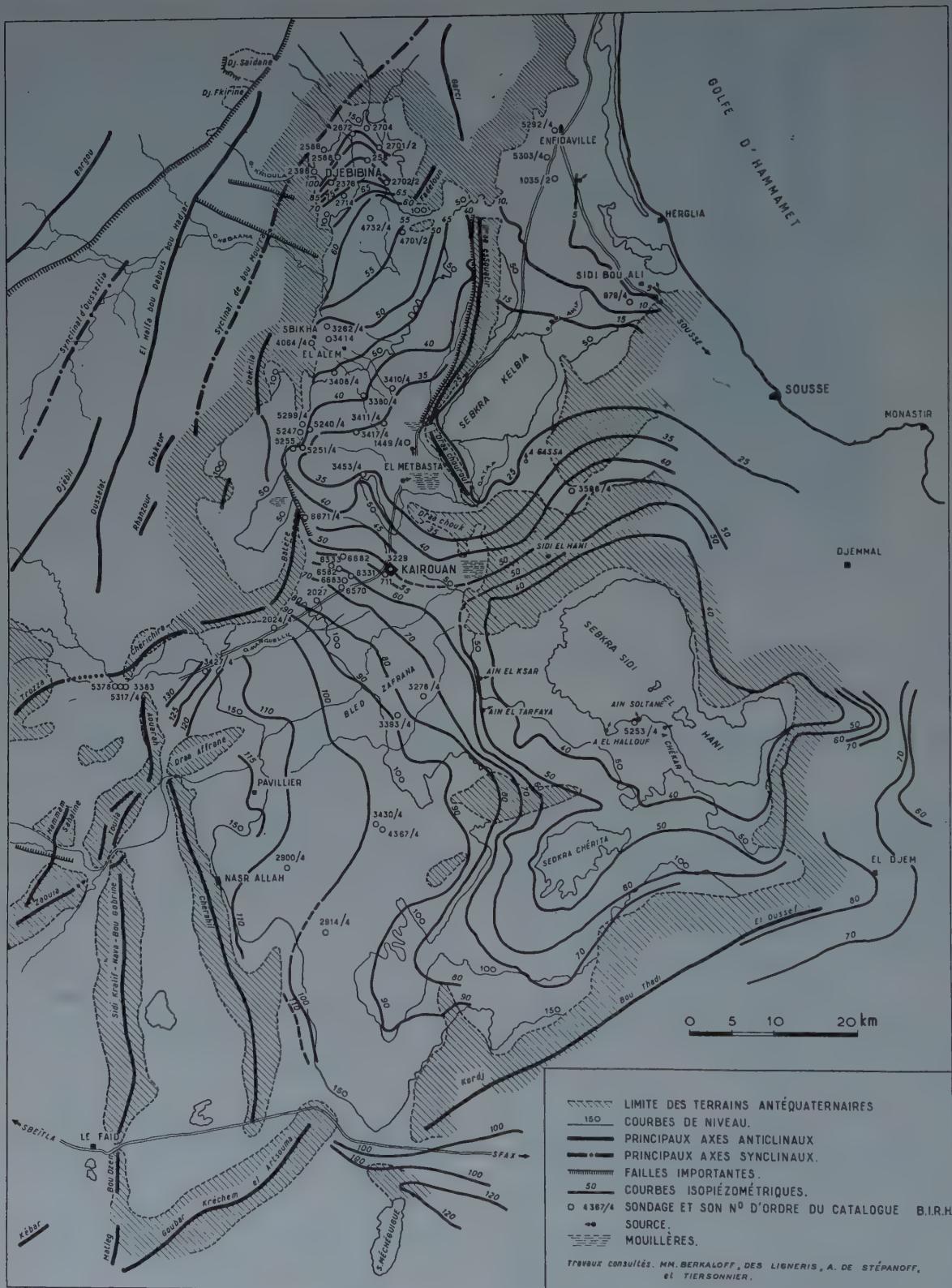
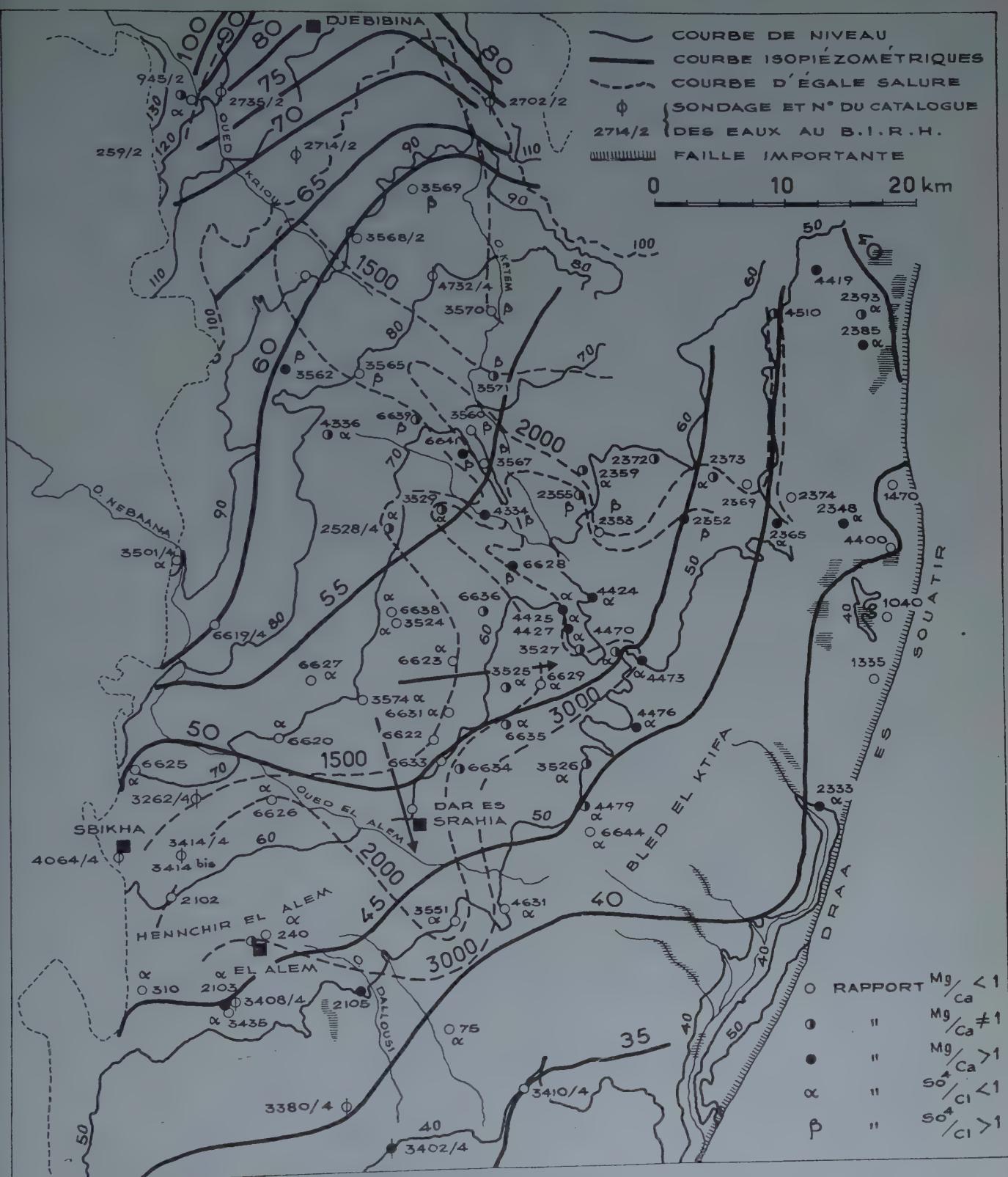


FIG. 15. — Esquisse hydrogéologique de la cuvette de Djébibina Kairouan.



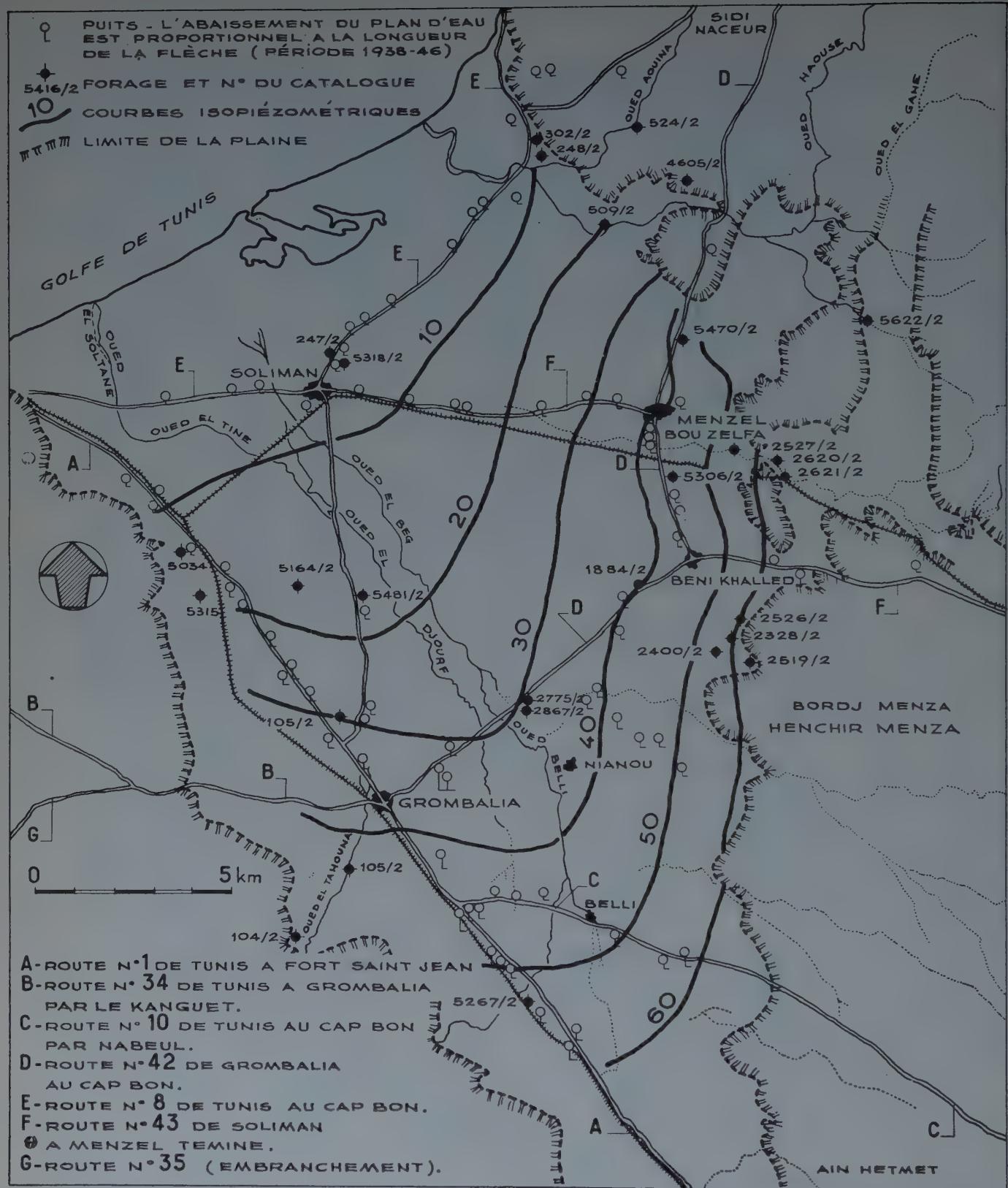


FIG. 17. — Carte hydrologique de la plaine de Grombalia.

D'après E. BERKALOFF

## DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — Messieurs, quelqu'un a-t-il des questions à poser au conférencier ?

M. PRADOURAT. — Peut-on tirer des conclusions assez nettes de l'étude des niveaux d'eau dans les formations calcaires ?

M. ARCHAMBAULT. — Le calcaire pose les problèmes les plus difficiles pour l'hydrogéologue. C'est une formation qui, quelquefois, joue bien des tours. Vous avez eu des difficultés avec les calcaires ?

M. PRADOURAT. — J'ai eu récemment le cas d'un niveau statique non permanent.

M. ARCHAMBAULT. — Avez-vous fait des essais d'injection ?

M. PRADOURAT. — Oui, ils ont entraîné diverses anomalies dont une remontée très importante du niveau.

M. ARCHAMBAULT. — Cela paraît indiquer que le calcaire n'est pas assez fissuré pour absorber la totalité de l'eau d'injection. Ce n'est pas comme cela que vous l'avez interprété ?

M. PRADOURAT. — C'est bien ce que j'ai pensé qu'il fallait admettre, encore que je n'aie pas pu interpréter tous les phénomènes observés.

M. LE PRÉSIDENT. — Il y a dans certains calcaires des nappes assez régulières pour être justifiables des courbes phréatiques. Ceux qui, au contraire, comportent des fractures très larges donnent lieu à des écoulements localisés et il n'y a pratiquement pas alors de niveau statique défini, chaque réseau de fissures donnant lieu à son propre régime d'écoulement. De tels calcaires n'obéissent donc pas aux lois générales de courbes isopiézométriques, telles que les a définies M. ARCHAMBAULT.

M. ARCHAMBAULT. — Il y aurait beaucoup à dire sur les calcaires. Il y a le mystère de certains calcaires, mais peut-être aussi une crainte exagérée des calcaires chez certains géologues.

M. LE PRÉSIDENT. — Les hydrologues anciens n'ont vu que les calcaires fissurés et n'ont parlé surtout que de la circulation karstique. Il existe tout de même des calcaires dont la circulation est diffuse et qui obéissent aux mêmes lois de circulation que les sables les plus fins. Je connais des exemples de calcaires qui ont un double système de circulation au point que les eaux diffuses peuvent avoir une composition chimique différente des eaux karstiques.

M. MATHIEU. — Ce problème n'est pas purement un problème d'eau, nous le retrouvons dans le pétrole. Il est peut-être un peu mieux connu que celui de l'eau car on l'a étudié dans de très nombreux cas. Je suis de l'avis de M. le Président et je crois qu'on peut considérer beaucoup de calcaires comme un réservoir très similaire à celui du type sable, ayant une perméabilité d'interstices et une porosité propre, les fissures n'étant pas autre chose que des canalisations de drainage. Il est impossible dans de très nombreux cas d'expliquer les écoulements et les débits simplement par des fissures. Le cas des champs du Proche-Orient en est un exemple. On est bien obligé d'admettre que les quantités de pétrole ne sont pas en rapport avec le volume de ces seules fissures. On doit donc concevoir le calcaire comme un réservoir de perméabilité extrêmement faible et collecté par des fissures, et ne pas essayer de séparer les choses en deux. Le calcaire n'est pas un produit défini, à mon avis il faut toujours penser à un réservoir dont les fissures, je le répète, ne peuvent expliquer le débit.

M. LE PRÉSIDENT. — Au point de vue hydrologique, il arrive très fréquemment (M. ARCHAMBAULT l'a signalé jadis en Tunisie), que le calcaire joue le rôle de drain par rapport à une autre for-

mation ayant une circulation plus lente. Tout le débit de cette formation peut se concentrer dans les calcaires en raison de leur perméabilité de fissure parfois considérable. On croit que l'eau provient du calcaire, alors que géologiquement elle appartient à d'autres strates géologiques. En Tunisie, les études que nous avons faites ensemble nous ont montré un certain nombre d'exemples : les calcaires de Sbeitla et ceux de Kasserine, calcaires presque dépourvus d'alimentation propre, mais disposés de telle manière qu'ils peuvent draîner des milliards de mètres cubes de sable.

M. MERLIN. — Indépendamment des renseignements que peut donner la carte phréatique, que pensez-vous qu'on puisse tirer de l'analyse chimique des points d'eau ?

M. ARCHAMBAULT. — Je n'en ai pas parlé parce que cela nous aurait entraînés trop loin. En Tunisie la question a été particulièrement travaillée et la Direction des Travaux Publics de Tunisie a mis au point un modèle de diagramme que j'ai eu d'ailleurs l'heureuse surprise de voir utiliser en France, ce qui prouve qu'on en a compris l'intérêt et les possibilités d'application. Je pense que c'est beaucoup une question de pays et de type de circulation. Dans le cas de l'Afrique du Nord, on a affaire en général à des séries de caractéristiques bien définies. Telle formation calcaire, tel niveau sableux, se retrouveront sur des dizaines et des dizaines de kilomètres très semblables à eux-mêmes. Dans d'autres cas, il s'agit de formations continentales, particulièrement en Afrique Noire présaharienne, que la personne qui me pose cette question, en tant que Chef du Service de l'Hydraulique de l'A. O. F., connaît bien. On a essayé, moi tout le premier, dans ces formations, extrêmement continues et étendues, de se servir des caractéristiques chimiques ; on s'est aperçu que cela ne donnait pas de résultats valables parce qu'on avait affaire précisément à des formations continentales, c'est-à-dire discontinues et hétéroclites du point de vue de leurs caractéristiques pétrographiques. Par voie de conséquence les eaux sont elles-mêmes extrêmement hétérogènes. Ces nappes continentales de l'Afrique Noire peuvent avoir un niveau statique continu sur des centaines et des centaines de kilomètres ; je pense notamment à telle formation aquifère existant depuis la Mauritanie jusqu'au lac Tchad. Mais quand on en étudie les eaux, on constate par exemple que deux puits, voisins de 50 m et de la même profondeur, donnent des eaux chimiquement très différentes. C'est donc essentiellement une question de cas d'espèce. Pour certaines formations, l'étude de la composition chimique des eaux donne des résultats très intéressants. Malheureusement, en France, il y a de multiples méthodes d'analyse chimique, ce qui fait qu'il est parfois très difficile de comparer des eaux.

M. MERLIN. — La méthode phréatique a-t-elle une portée d'application beaucoup plus grande ?

M. ARCHAMBAULT. — La méthode phréatique se heurte, elle aussi, à certaines difficultés. Dans les séries continentales dont j'ai parlé, il y a parfois des anomalies de niveau statique. Tel puits rencontrera des sables à la profondeur du niveau statique, tel autre rencontrera de l'argile et on n'aura le niveau statique vrai qu'à condition de traverser cette argile.

M. LE PRÉSIDENT. — Je ne crois pas qu'il y ait antagonisme entre la méthode chimique et la méthode phréatique. Ce sont deux procédés valables pour l'étude des gisements aquifères. La chimie réussit dans certains cas, notamment dans les séries sédimentaires homogènes. Dans d'autres cas, elle ne réussit pas. La carte phréatique exige d'avoir affaire à des nappes à niveau statique continu, ce qui est le cas de beaucoup de formations quaternaires et alluviales.

M. JEUFFROY. — Dans les régions de Tunisie dont M. ARCHAMBAULT nous a montré les cartes phréatiques, des résultats intéressants ont été obtenus par l'utilisation des courbes d'égale salure.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est exact. C'est encore une fois une synthèse entre la méthode phréatique et la méthode chimique qui s'avère nécessaire. Diverses courbes tracées sur les cartes permettent souvent d'interpréter certaines anomalies, le mélange de nappes différentes par exemple. Tout ceci est évidemment très vaste, nous n'avons pas la prétention d'épuiser un tel sujet qui mériterait vingt ou vingt-cinq séances.

UN AUDITEUR. — Vous avez parlé du système des puits développés américains. Dans les sables boulants la considération de la vitesse d' entraînement des sables est un facteur très important. Cette vitesse peut être étudiée au laboratoire. Lorsqu'on forme le puits, on augmente la périphérie et c'est la vitesse d' entraînement à la périphérie qu'il faut considérer jusqu'à la limite admissible qui est indiquée par le laboratoire. Lorsque dans un puits, on forme simplement un filtre très mince, si ce filtre se remplit de sable fin il ne vient plus d'eau. Dans ce cas, la formation du puits à la méthode américaine est la seule possible, avec la considération de la vitesse d' entraînement à la périphérie.

M. ARCHAMBAULT. — Ce que vous dites m'intéresse beaucoup, car je n'ai pas connaissance d'essais faits en laboratoire.

LE MÊME AUDITEUR. — Moi non plus, mais il y a tout un domaine à explorer.

M. LE PRÉSIDENT. — Le procédé même réalise l'auto-équilibre. Le puits se développe spontanément par introduction de gravier. On ne fait pas le chambrage avant, mais en même temps : chaque fois qu'on évacue 1 litre de sable on introduit 1 litre de gravier, cela se fait simultanément. L'équilibre s'établit lorsque l'entraînement devient nul à la périphérie du massif. C'est d'ailleurs un équilibre instable, il suffit d'un rien, d'une crépine percée, d'un coup de bâlier, pour que cet équilibre se détruise et que le puits soit ruiné.

M. SUQUET. — M. ARCHAMBAULT avait l'air de dire que ces procédés de puits développés Layne étaient peu usités en France. Je crois au contraire qu'ils le sont : dans tous les environs de Paris la nappe phréatique est exploitée par ces procédés, à Rueil en particulier, où elle sert à l'alimentation des communes de la banlieue aval de Paris. A Bordeaux, une grande partie de l'alimentation en eau est exploitée de la même façon et récemment encore on a fait un puits à Bagneux pour aller retrouver la nappe des sables verts à 800 m de profondeur.

M. ARCHAMBAULT. — Je suis très heureux de ces précisions.

M. LE PRÉSIDENT. — Je pense que je serai votre interprète à tous en remerciant M. ARCHAMBAULT d'avoir bien voulu développer devant nous quelques idées sur ces problèmes d'hydrogéologie et je vous remercie également de votre attention.

*(Reproduction interdite.)*

SUPPLÉMENT AUX  
ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N° 67-68.

Série : ESSAIS ET MESURES (XXVI).

# ÉTUDES SUR MODÈLES RÉDUITS DE PLANCHERS-DALLES

PAR

**Charles BONVALET,**

Ingénieur des Arts et Métiers,  
Ingénieur à la Section Maquettes des Laboratoires  
du Bâtiment et des Travaux Publics.

**Adnan CAKIROGLU,**

Ingénieur de l'Université Technique d'Istanbul.

## SOMMAIRE

	Paragraphes.	Paragraphes.
Généralités .....	1	3,3
Étude du modèle réduit sur trois rangées d'appuis simples sans poutre de rive. ....	2	3,4
Conditions des essais.....	2,1	
Détermination des réactions d'appui. ....	2,2	
Détermination des moments fléchissants .....	2,3	
Détermination des flèches.....	2,4	
Étude du modèle réduit avec appuis simples continus en bordure et une rangée médiane de six poteaux.....	3	
Conditions des essais.....	3,1	
Détermination des réactions d'appuis.....	3,2	
Détermination des moments fléchissants .....	3,3	
Comparaison avec les résultats de calcul.....	3,4	
Conclusions.....	4	
<b>Annexe I.</b>		
Remarques sur l'interprétation de la forme des isostatiques obtenues sur la surface d'un volume, à l'aide d'un vernis craquelant. ....		
<b>Annexe II.</b>		
Étude de la variation du moment fléchissant à la périphérie d'un poteau encastré à la dalle en fonction du diamètre de ce poteau .....		
		6

LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

## PRÉFACE de R. L'HERMITE,

Directeur des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

En 1951, j'ai publié dans les *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* (1), une étude sur les plaques fléchies, dans laquelle je préconisais une méthode de calcul des planchers-dalles avec appuis intérieurs dits planchers-champignons.

Cette méthode suit de très près la théorie de l'élasticité. Elle comporte, en premier lieu, le calcul des réactions des appuis intérieurs par égalisation des flèches dues à la surcharge et aux réactions d'appui. Elle comprend ensuite le calcul des moments de flexion, soit directement, soit par utilisation du procédé d'approximation dit par relaxation.

J'avais, dans un exemple d'application, pris comme modèle un plancher effectivement réalisé en béton armé et donné, pour celui-ci, tous les moments de flexion intéressant le constructeur. Devant la difficulté où l'on se trouvait de réaliser des mesures précises sur la construction elle-même et désirant cependant faire une confrontation des résultats théoriques et des contraintes réelles, j'avais pensé construire un modèle et l'essayer. C'est ce que j'assurais dans les conclusions de mon étude.

Mes collaborateurs et amis, MM. BŌNVALET et CAKIROGLU ont bien voulu se charger de ce travail. Il ne s'agissait pas d'un travail aisément, les essais antérieurs de ce genre étaient très rares et de peu d'enseignement, pour autant que nous pouvions le savoir à l'époque (des travaux similaires étaient simultanément effectués en Hollande, au Laboratoire de Delft). Il fallait donc mettre au point toute une technique et MM. BŌNVALET et CAKIROGLU ont le mérite d'y avoir très bien réussi, avec beaucoup d'ingéniosité, de soin et d'adresse. C'est avec la plus grande confiance que nous pouvons aborder la comparaison que nous avions en vue.

Les résultats de cette confrontation sont précieux. Ils montrent, comme je l'espérais, une concordance acceptable entre le calcul et les mesures, sauf en ce qui concerne les moments sur appui. Rappelons que ceux-ci étaient déterminés, faute de mieux, d'après une expression moyenne obtenue d'une manière très grossière inspirée des résultats des études de WESTERGAARD.

L'action de la charge concentrée déterminée par la réaction d'appui était donnée sous la forme  $M = 0,35R$

(1) Juin 1951 Théories et méthodes de calcul, n° 12.

où  $R$  est la réaction. Cette approximation s'est révélée peu exacte. On a pu reconnaître, en effet, l'influence très sensible du diamètre de l'appui. Puisqu'il s'agit de béton armé où il y a une continuité réelle entre le poteau et la dalle, les moments à prendre en considération sont ceux qui agissent au périmètre du poteau, à l'encastrement de la dalle sur celui-ci.

Si nous considérons le seul effet de la réaction du poteau, nous prenons encore le moment d'encastrement bordure correspondant d'une manière plus précise et en tenant compte des précédentes expériences sous la forme empirique  $M = - KR$  avec :

$$K = 0,36 - 0,75 \frac{D}{l}$$

où  $l$  est la portée entre poteaux sur la direction correspondante; et  $D$  le diamètre moyen du poteau (ceci étant valable pour  $h/l$  voisin de 0,04 et  $D/l$  compris entre 0,03 et 0,12).

A ce moment il faut ensuite ajouter algébriquement celui qui existerait dans la dalle en l'absence du poteau.

Les expériences ont montré également l'influence de la continuité des pilier qui peut accroître le moment sur appui de plus de 60 % pour un chargement dissymétrique. Le problème serait d'ailleurs à reprendre avec plus de détails grâce à des essais moins idéalisés. Les essais ont encore montré la très grande sensibilité d'un tel mode de construction aux irrégularités de support et, en particulier, à leur tassement. L'affaissement limité d'un seul poteau suffit à modifier complètement la répartition des efforts dans une large région qui, pour le cas présent, correspond à la totalité du plancher.

En conclusion, il paraît confirmé que la méthode de calcul précise soit utilisable. Compte tenu de la difficulté d'un essai de ce genre, de l'imperfection d'un modèle à petite échelle, de la précision limitée des méthodes de mesure, de la sensibilité de l'ensemble aux influences locales accidentnelles, on peut s'estimer satisfait de la comparaison. Un tel genre d'essai est long et onéreux. Il ne peut être question de le reprendre, hors de cas exceptionnels. La méthode de calcul est, elle aussi, relativement longue d'emploi, mais hors de proportion avec la réalisation d'un essai. Elle donne, en tout cas, beaucoup plus de sécurité que l'usage aveugle de formules pêchées au hasard des formulaires.

### RÉSUMÉ

Afin d'étudier expérimentalement les lois de répartition des contraintes dans les planchers dalles, nous avons réalisé deux modèles réduits.

Le premier est constitué par une plaque appuyée sur trois rangées de six poteaux non encastrés, et le second par une plaque reposant sur des appuis simples continus en bordure et une rangée médiane de six poteaux non encastrés.

Ces essais, qui viennent à la suite de la publication par M. R. L'HERMITE d'une étude sur les plaques fléchies permettant l'application d'une méthode de calcul des planchers-dalles, ont mis en évidence une concordance très satisfaisante entre les valeurs calculées et mesurées des moments fléchissants et des réactions, sous l'action de surcharges uniformément réparties.

Des mesures ont été effectuées permettant d'évaluer avec

précision la valeur des moments fléchissants à la périphérie des poteaux, moments qui conditionneront les dimensions principales, et par conséquent, le coût de l'ouvrage.

Il a été possible également d'estimer l'importance de l'affaissement éventuel d'un pilier et de mesurer l'ordre de grandeur des perturbations qu'un tel incident peut entraîner.

D'autre part, ces essais ont donné l'occasion d'appliquer des techniques expérimentales dont le principe est connu, mais dont l'emploi nécessite certaine mise au point; nous pensons en particulier à la détermination des réactions d'appuis.

Enfin, ils ont permis l'usage de vernis craquelants dont l'utilisation pour l'analyse des contraintes est particulièrement fructueuse.

# EXPOSÉ DE M. BONVALET

## NOTATIONS

### 1<sup>o</sup> Dimensions de la dalle.

$l_x, l_y$	: écartements des travées sur la maquette suivant les axes $ox$ et $oy$ , en mm;
$L_x, L_y$	: écartements des travées sur la construction suivant les axes $ox$ et $oy$ , en m;
$h$	: épaisseur de la dalle sur la maquette, en mm;
$H$	: épaisseur de la dalle sur la construction, en m;
$e$	: échelle de la maquette ( $e = \frac{1}{40}$ );
$I_x, I_y$	: moments d'inertie de la section droite de la maquette, de largeur égale à l'unité, par rapport aux axes respectifs $ox$ et $oy$ , en $\text{cm}^4$ ;
$A_j, B_j, C_j$	: appuis;
$A_j, A_{j+1}, B_j, B_{j+1}$	: rectangle formé par les appuis $A_j, A_{j+1}, B_j, B_{j+1}$ .

### 2<sup>o</sup> Charges.

$q$	: charge uniformément répartie; en $\text{t}/\text{cm}^2$ ;
$Q_i$	: charge concentrée au point ( $i$ ), en t;

### 3<sup>o</sup> Déformations et efforts.

$M_x$	: moment fléchissant autour de l'axe OY, valable pour une largeur de 1 cm, exprimé en $\text{cm} \cdot \text{t}$ ;
$M_y$	: moment fléchissant autour de l'axe OX, valable pour une largeur de 1 cm, exprimé en $\text{cm} \cdot \text{t}$ ;
$\alpha_i^j$	: flèche (facteur d'influence) au point $j$ , sous l'action de la charge $Q_i = 1 \text{ t}$ , en $\text{cm}/\text{t}$ (dans un système à quatre appuis);
$\alpha_o^j$	: flèche au point $j$ , sous l'action de la charge uniformément répartie $q = 1 \text{ t}/\text{cm}^2$ , en $\text{cm}^2/\text{t}$ (dans un système à quatre appuis);

$(\alpha)_i^j$	: flèche (facteur d'influence) au point $j$ , sous l'action de la charge concentrée $Q_i = 1 \text{ t}$ , en $\text{cm}/\text{t}$ (dans un système dont l'appui $j$ seul est supprimé);
$(\alpha)_o^j$	: flèche au point $j$ , sous l'action de la charge uniformément répartie $q = 1 \text{ t}/\text{cm}^2$ , en $\text{cm}^2/\text{t}$ (dans un système dont l'appui $j$ seul est supprimé);
$\varepsilon_{xi}$ et $\varepsilon_{yi}$	: déformations relatives au point $j$ , sur la surface de la plaque, sous l'action de la charge uniformément répartie $q = 1 \text{ t}/\text{cm}^2$ ;
$n_x, n_y$	: contraintes normales suivant les axes $ox$ et $oy$ , en $\text{kg}/\text{cm}^2$ ;
$k_i$	: coefficient de réaction;
$K_i$	: coefficient de moment;
$R_i$	: réaction de l'appui $i$ , en kg;
$E_a$	: module d'élasticité de l'acier, en $\text{kg}/\text{cm}^2$ ;
$E_b$	: module d'élasticité du béton, en $\text{kg}/\text{cm}^2$ ;
$\gamma$	: coefficient de Poisson de l'acier.

### 4<sup>o</sup> Signes des déformations et des efforts.

$M_x$	: positif s'il produit une traction sur la face inférieure de la dalle;
$M_y$	: même signe que pour $M_x$ et $M_y$ ;
$K_i$	: positive de haut en bas;
$\alpha_i^j, \alpha_o^j$	: positive si elle détermine un allongement;
$\varepsilon_i$	: positive si elle détermine une traction;
$n_x, n_y$	: positif de bas en haut;
$R_i$	: positif de bas en haut;
$K_i$	: de même signe que $R_i$ .

### 5<sup>o</sup> Indices.

$j$	: indice de position;
$i$	: indice de force.

## SUMMARY

In order to investigate experimentally the laws of stress distribution in flat slabs, two scale models were made.

The first is composed of a plate supported by three rows of six non-fixed-end-columns, and the second of a plate resting on simple supports around its periphery and on a middle row of six non-fixed-end-columns.

These tests followed the publication by Mr R. L'HERMITE of an investigation on plates in flexure, developing a method of flat-slab analysis. They show a highly satisfactory concordance between the calculated and the measured values of bending moments and reactions under the action of uniformly distributed loads.

Certain measurements permitting the accurate evaluation of the value of bending moments at the periphery of the columns

were made. These moments will control the basic dimensions and therefore the cost of the structure.

It was also possible to estimate the extent of the possible settlement of a column and to measure the order of magnitude of the perturbations which such an eventuality could entail.

Furthermore, these tests have been the occasion of applying experimental techniques, the principle of which is known, but the use of which requires a further development. In particular, we are referring to the determination of reactions at the supports.

Finally, the tests entailed the use of crackling lacquers, the use of which gives particularly fruitful results for stress analysis.

## GÉNÉRALITÉS

L'étude théorique des planchers-dalles n'a pas conduit jusqu'à présent à des solutions rigoureuses et générales. A la suite d'une étude de M. L'HERMITE sur les plaques fléchies, nous avons entrepris, afin de confronter les résultats théoriques et expérimentaux, la réalisation de deux essais sur modèles réduits de planchers-dalles.

Le premier plancher (fig. 1) comporte deux travées et trois rangées de six poteaux chacune. Le deuxième plancher (fig. 18) est également un plancher à deux travées, mais les appuis de bordure sont continus et libres et la rangée médiane est composée par six poteaux formant appuis libres.

Nous avons déterminé, dans les deux cas, les réactions d'appuis sous poteaux et les diagrammes des moments fléchissants dans les sections transversales et longitudinales principales. Les mesures de réactions ont été obtenues grâce à un dynamomètre muni d'extensomètres à fil résistant conçu à cet effet et les moments fléchissants ont été déduits de la mesure des déformations relatives au droit des points les plus intéressants de la surface de la dalle, à l'aide d'extensomètres à fil résistant. Préalablement nous avons déterminé, en utilisant des vernis craquelants qualitatifs, les régions où la

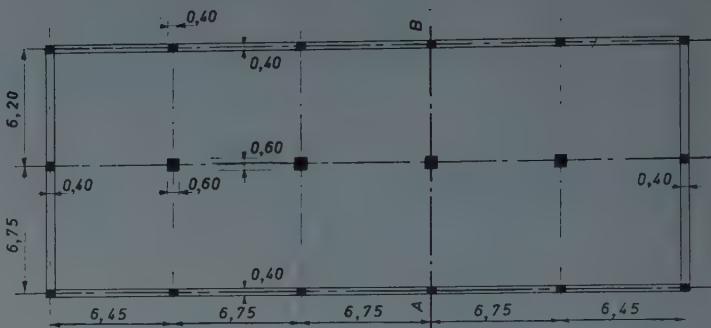
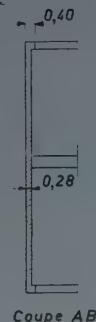


FIG. 1. — Ensemble du plancher.

mesure des moments fléchissants semblait la plus fructueuse.

Notons enfin, qu'au cours de l'étude du deuxième modèle réduit, nous avons mis en évidence l'influence du diamètre de la tête d'un poteau sur le moment négatif au droit de ce poteau.

Cette influence paraissant assez sensible, nous avons effectué des essais complémentaires qui ont fait l'objet de l'annexe II, afin de préciser l'importance de ce facteur.

## ÉTUDE DU MODÈLE RÉDUIT SUR TROIS RANGÉES D'APPUIS SIMPLES SANS POUTRE DE RIVE

### 2,1 Conditions des essais.

L'échelle de cette maquette a été choisie égale à  $e = \frac{1}{40}$ . La surface d'appui de chaque poteau est constituée par un cercle de 3 mm de diamètre. L'intérêt principal de cette maquette est la possibilité qu'elle offre de déterminer la valeur des réactions d'appuis; cette détermination ne tient évidemment pas compte de l'enca斯特rement des poteaux, mais elle fournit malgré tout une idée correcte de la répartition des réactions, d'autant plus intéressante que la maquette rigoureuse de l'ouvrage réel, c'est-à-dire avec poteaux encastrés, ne permet pas de mesurer ces réactions.

D'autre part, l'évaluation des moments de flexion qui naissent dans cette première maquette permet une comparaison non dénuée d'intérêt avec la valeur de ces moments dans une maquette éventuelle avec poteaux encastrés. La mesure des moments fléchissants a été faite à l'aide d'extensomètres à fil résistant.

Deux cas de chargement ont été envisagés : un chargement uniformément réparti sur la surface totale de la maquette et un chargement uniformément réparti sur un seul panneau.

#### Description de l'appareillage.

Le chargement a été obtenu par air comprimé, à l'aide de deux boîtes métalliques fermées par une membrane de caoutchouc (fig. 2). La mesure de la pression a été faite par un manomètre différentiel, soit à eau, soit à mercure, suivant l'importance des pressions à obtenir.

Les charges concentrées nécessaires à la détermination des réactions d'appuis de la maquette, à l'aide des méthodes indirectes (A et B), ont été obtenues par des poids reposant sur un disque, lui-même solidaire d'une tige reposant sur la dalle (fig. 3).

La mesure directe des réactions a été effectuée à l'aide d'un dynamomètre spécialement conçu à cet effet (fig. 2). Ce dynamomètre est constitué par un corps parallélépipédique reposant sur trois appuis ponctuels encastrés à sa face inférieure. Sur sa face supérieure, la charge est transmise à l'aide d'un appui ponctuel situé au milieu de la portée. Cet appui est d'ailleurs visible sur la figure 2.

Le dynamomètre fonctionne donc comme une poutre reposant sur deux appuis et chargée en son milieu. Un strain-gage est collé sur chaque face du parallélépipède; celui de la face inférieure travaille en extension et celui de la face supérieure en compression. Comme ils sont reliés chacun à une branche du pont de Wheatstone, le déséquilibre de ce dernier due aux déformations d'origine mécanique est doublé, tandis que le déséquilibre due aux déformations causées par des variations de température est nul. Cette disposition des extensomètres permet donc de doubler la sensibilité de l'appareil. Avant usage, nous avons procédé à l'étalement du dynamomètre et c'est grâce à la courbe d'étalement que nous tirons la valeur de l'effort agissant sur l'appui supérieur, à partir des indications de variation de résistance données par le pont de Wheatstone.

La mesure des flèches a été réalisée à l'aide de comparateurs (fig. 3).

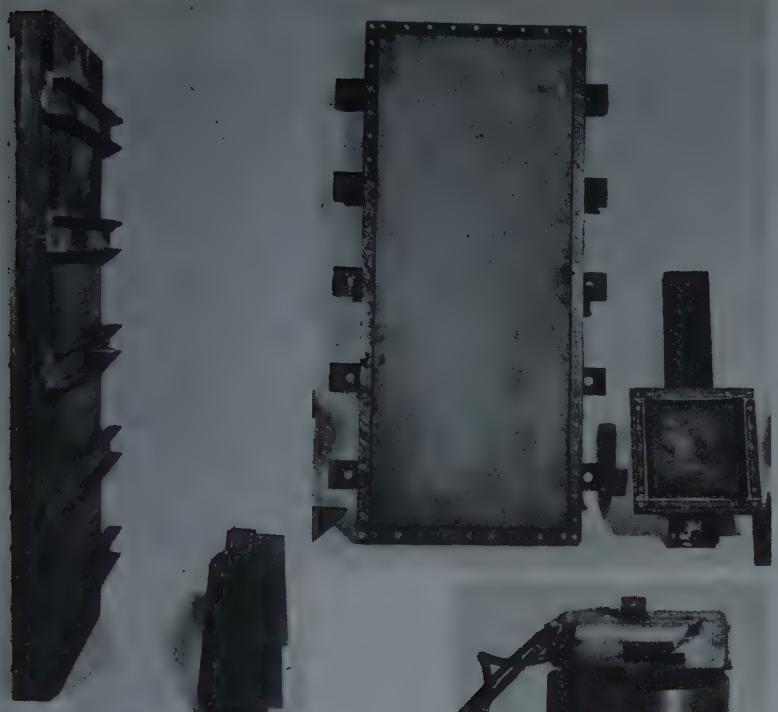


FIG. 2.

Boîte de chargement et dynamomètre.



FIG. 3. — Mesure des réactions par la méthode indirecte A.

## 2.2 Détermination des réactions d'appui.

La mesure des réactions d'appuis a été effectuée à l'aide de trois méthodes différentes : deux méthodes indirectes et une directe à l'aide du dynamomètre à strain-gages.

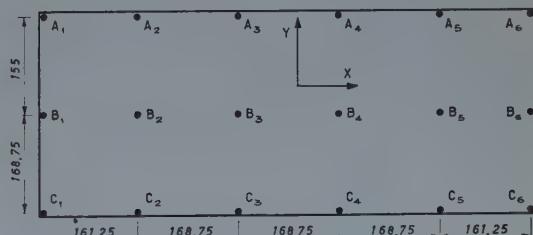
La méthode indirecte, que nous avons baptisée A, est basée sur la mesure des coefficients d'influence de charges concentrées au droit des appuis sur la dalle reposant sur les quatre appuis d'angle. Cette méthode n'a pu aboutir à un résultat valable, bien que les mesures aient été très satisfaisantes, pour des raisons que nous analyserons plus loin.

La deuxième méthode indirecte, que nous avons appelée B, est classique. Elle consiste en la comparaison des flèches sous chaque appui, dues d'une part à une charge concentrée au droit de l'appui considéré, celui-ci étant levé et, d'autre part, au chargement réparti. Dans ce cas, seul l'appui dont nous voulons mesurer la réaction est levé. Cette méthode nous a conduits à un résultat valable et très comparable à celui obtenu à l'aide du dynamomètre.

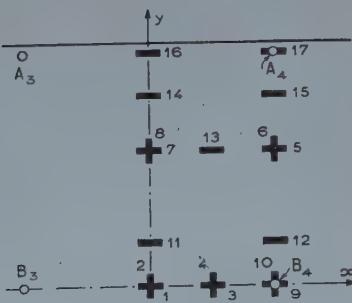
### 2.21 Méthodes indirectes basées sur la mesure des coefficients d'influence.

La détermination indirecte des réactions d'appuis, basée sur la mesure des coefficients d'influence, peut se faire d'un grand nombre de manières. A partir du plancher-dalle complet, possédant ses dix-huit poteaux (fig. 4), nous n'avons que l'embarras de choisir le système le plus simple.

En effet, supposons que nous retirions un certain nombre de poteaux au plancher, soit trois poteaux pour fixer les idées. Nous devons déterminer expérimentalement les coefficients d'influence des réactions 1, 2 et 3 aux droits des poteaux 1, 2 et 3 et les coefficients d'influence de la charge répartie aux droits de ces



A. — Schéma de la maquette;



B. — Emplacement des extensomètres à fil résistant.

mêmes poteaux; puis, nous écrirons qu'au droit de chaque poteau la flèche due au chargement réparti est égale et de sens opposé à celle due à la réaction de ce poteau et des deux autres; nous obtiendrons ainsi un système de trois équations linéaires à trois inconnues. D'un point de vue mathématique, moins le nombre d'équations à résoudre est grand, plus l'opération est rapide mais, pratiquement, chaque opération réclame une installation particulière des appareils de mesure, le temps nécessité par



FIG. 5. — Détermination des réactions d'appui : méthode A.

l'essai est considérable. D'un autre point de vue, le choix d'un système de poteaux dont nous voulons déterminer les réactions ne peut être quelconque, car les poteaux n'étant pas solidaires de la dalle, nous déterminons dans la plupart des cas des soulèvements d'appuis lors de l'application des charges, soulèvements que nous devons empêcher par l'application de charges concentrées aux droites des points soulevés, opérations qui compliquent d'autant plus l'essai que le nombre d'appuis qui se soulèvent est important.

Ces diverses considérations nous ont conduits vers l'adoption du système formé par le plancher soutenu uniquement par ses quatre poteaux d'angle (fig. 5).

La détermination des réactions d'appui à l'aide de ce système a constitué la méthode indirecte A.

### 2.211 Méthode indirecte A.

Le principal intérêt du système formé par la dalle reposant sur ses quatre poteaux d'angle est qu'il ne détermine pas de soulèvement d'appui quel que soit le point de la surface de la dalle où nous appliquons une charge concentrée pour déterminer les coefficients d'influence de cette charge au droit des autres appuis. D'autre part, les dispositifs d'essais nécessaires sont simples et peu nombreux. L'inconvénient de ce procédé est qu'il nécessite la résolution d'un système de sept équations linéaires qui réclament un temps assez long.

Rappelons la définition du facteur d'influence. Nous appelons  $\alpha_i^j$ , facteur d'influence au point J d'une charge Q agissant au point i; le rapport de proportionnalité de la flèche qui naît au point J sous l'action d'une charge Q agissant en i. Autrement dit  $\alpha_i^j$  est la flèche qui naît en J sous l'action d'une charge unité agissant en i;  $\alpha_i^j$  s'exprime en cm/t.

D'autre part, nous appellerons  $\alpha_0^j$  le facteur d'influence au point J de la charge uniformément répartie.

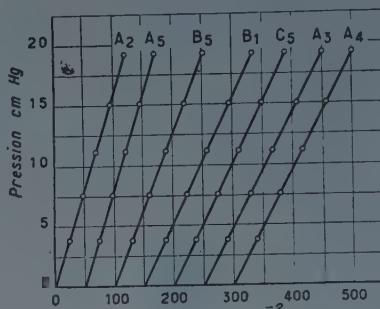
$\alpha_0^j$  s'exprime en  $\text{cm}^3/\text{t}$ . La détermination des quatorze réactions d'appuis correspondant aux quatorze poteaux enlevés, se ramène, en utilisant la symétrie presque parfaite de la construction, à la résolution d'un système de sept équations linéaires, telles que :

$$\begin{aligned} & R_{A_2} [\alpha_{A_2}^{A_2} + \alpha_{A_5}^{A_2}] + R_{A_5} [\alpha_{A_2}^{A_5} + \alpha_{A_4}^{A_5}] + R_{B_1} [\alpha_{B_1}^{A_2} + \alpha_{B_6}^{A_2}] \\ & + R_{B_2} [\alpha_{B_2}^{A_2} + \alpha_{B_5}^{A_2}] + R_{B_3} [\alpha_{B_3}^{A_2} + \alpha_{B_1}^{A_2}] + R_{C_2} [\alpha_{C_2}^{A_2} + \alpha_{C_5}^{A_2}] \\ & + R_{C_5} [\alpha_{C_5}^{A_2} + \alpha_{C_4}^{A_2}] - \alpha_0^{A_2} \cdot q = 0 \end{aligned}$$

q étant la charge répartie en  $\text{t}/\text{cm}^2$ .

Cette équation écrit l'égalité en  $A_2$  des flèches dues d'une part

### DÉTERMINATION DES FACTEURS D'INFLUENCE



$$\begin{aligned} (\alpha)_0^{A_2} &= 6,23 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} & (\alpha)_0^{C_5} &= 10,12 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} \\ (\alpha)_0^{A_5} &= 6,23 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} & (\alpha)_0^{A_3} &= 10,40 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} \\ (\alpha)_0^{B_5} &= 8,09 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} & (\alpha)_0^{A_4} &= 10,47 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} \\ (\alpha)_0^{B_1} &= 9,94 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{t}} \end{aligned}$$

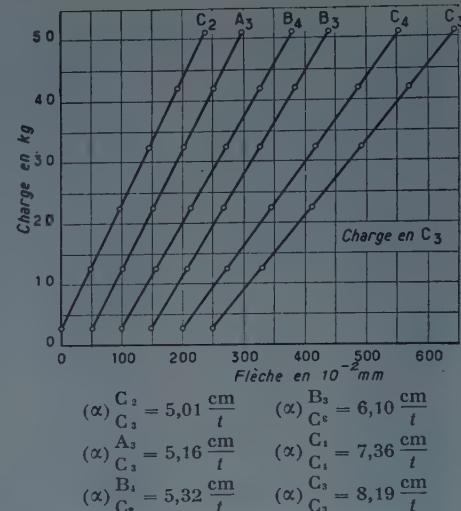


FIG. 6. — Mesure des réactions : méthode indirecte A.  
Détermination des facteurs d'influence.

aux réactions des quatorze appuis et, d'autre part, à la charge uniformément répartie.

La figure 6 donne un exemple de détermination des facteurs d'influence, pour certains points sous l'action de la charge  $C_3$  et sous l'action de la charge uniformément répartie.

Malheureusement, bien que les mesures aient été faites avec le maximum de précision et qu'elles aient donné entière satisfaction, le système d'équation est tel qu'il faudrait déterminer les facteurs d'influence avec une précision irréalisable en pratique pour que ses solutions soient valables. En effet, l'imprécision relative de la valeur des facteurs d'influence fournie par l'expérience permet l'obtention d'un grand nombre de solutions très différentes satisfaisant le système d'équation. Pour préciser cette conclusion, nous pouvons la comparer au grand nombre de solutions qui satisfont à la résolution d'un système de deux équations linéaires dont la représentation graphique est figurée par deux droites se coupant sous un angle très faible.

### 2.212 Méthode indirecte B.

Après cet échec nous avons adopté la méthode indirecte classique, que nous avons appelée B et qui consiste à ne retirer qu'un poteau à la fois, à mesurer la flèche sous une charge donnée, concentrée au droit de l'appui et à la comparer à la flèche qui naît au même endroit sous l'action de la charge uniformément répartie. Bien entendu, l'application d'une charge concentrée au droit d'un appui dont le poteau a été enlevé fait naître, par ailleurs, des soulèvements d'appuis, qu'il a fallu annuler à l'aide de charges concentrées. Cette méthode est plus longue que la précédente, mais elle conduit à des résultats très satisfaisants. Nous n'avons déterminé ainsi que les réactions dues à la charge uniformément répartie sur toute la surface de la dalle.

La figure 7 est un exemple de détermination de facteurs d'influence. En effet, si nous appelons  $q$ , la valeur de la charge uniformément répartie en  $\text{t}/\text{cm}^2$ , l'expression  $(\alpha)_0^{C_2} \times q$  nous donne la valeur de la flèche qui naît au droit de  $C_2$  sous l'action de la charge répartie  $q$ . Cette flèche étant annulée sous l'action de la réaction en  $C_2$ , la valeur de cette réaction est obtenue en calculant l'expression :

$$\frac{(\alpha)_0^{C_2} \times q}{(\alpha)_{C_2}^{C_2}}$$

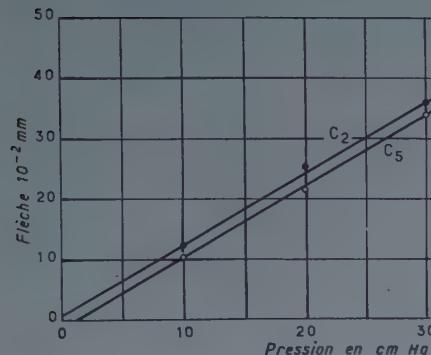
Le tableau I donne la valeur des coefficients  $k_i$  définis par la relation :

$$R_i = k_i \times P$$

$$(\alpha) \frac{C_0}{0} = 85,8 \frac{\text{cm}^3}{t}$$

$$(\alpha) \frac{C_5}{0} = 86,1 \frac{\text{cm}^3}{t}$$

$$\frac{1}{2} \left[ (\alpha) \frac{C_0}{0} + (\alpha) \frac{C_5}{0} \right] = 85,9 \frac{\text{cm}^3}{t}$$



$$(\alpha) \frac{C_5}{C_0} = 0,665 \frac{\text{cm}}{t}$$

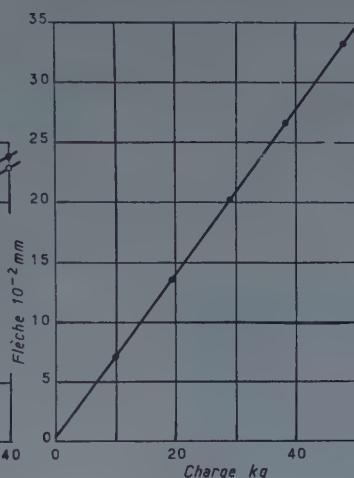


FIG. 7. — Mesure des réactions : méthode indirecte B.  
Détermination des facteurs d'influence.

avec :

$R_i$  : réaction de l'appui  $i$ , en tonne;  
 $P$  : charge répartie totale, en tonne.

La somme des coefficients  $k_i$ , qui s'élève à 0,99, met en évidence une erreur de 1 % par défaut, ce qui est acceptable.

## 2,22 Méthode directe.

Cette méthode est basée sur l'emploi du dynamomètre à strain-gages que nous avons décrit sommairement au paragraphe 2. Pour mesurer la réaction d'appui d'un poteau donné, nous remplaçons ce poteau par l'appui formé par le dynamomètre et son support. Nous repérons ensuite, à l'aide d'un comparateur, la cote du point de la dalle située au droit de l'appui, alors que le chargement de cette dalle était nul. Puis, après chargement, nous annulions à l'aide du support réglable du dynamomètre la flèche due au chargement réparti, en nous basant sur les indications du comparateur. Enfin, il nous a suffi de noter l'effort enregistré par le dynamomètre durant cette opération. Pour accroître la précision, nous avons répété les mesures pour différentes charges.

Cette méthode présente sur la méthode indirecte B l'avantage de ne pas créer de soulèvements d'appui au cours du chargement réparti total. Par contre, ces soulèvements naissent inévitablement sous les chargements partiels et il faut également utiliser des charges concentrées pour les annuler.

Nous avons déterminé ainsi les réactions dues à une charge répartie totale et à différentes charges réparties partielles.

### 2,221 Chargement réparti total.

La valeur des coefficients  $k_i$  est donnée par le tableau II.

La somme des coefficients  $k_i$  est égale à 1,03. L'erreur relative s'élève donc à 3 % par excès. Cette erreur est légèrement supérieure à celle constatée lors de l'application de la méthode indirecte B. Malgré tout, la précision obtenue est satisfaisante.

### 2,222 Chargements répartis partiels.

Nous avons chargé trois panneaux : les panneaux :

A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>

A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>

A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>

TABLEAU I.

PREMIER PLANCHER	
Détermination des coefficients $k_i$ dus au chargement réparti total par la méthode indirecte B	
Appui	$k_i = \frac{R_i}{P}$
A <sub>1</sub> et A <sub>6</sub>	0,0171
A <sub>2</sub> et A <sub>5</sub>	0,0389
A <sub>3</sub> et A <sub>4</sub>	0,0376
B <sub>1</sub> et B <sub>6</sub>	0,0439
B <sub>2</sub> et B <sub>5</sub>	0,1275
B <sub>3</sub> et B <sub>4</sub>	0,1200
C <sub>1</sub> et C <sub>6</sub>	0,0193
C <sub>2</sub> et C <sub>5</sub>	0,0460
C <sub>3</sub> et C <sub>4</sub>	0,0446
$2\sum k_i = 0,990$	

Par raison de symétrie, les réactions d'appuis dues au chargement des autres panneaux, se déduisent immédiatement de ces trois chargements partiels.

TABLEAU II.

PREMIER PLANCHER	
Détermination des coefficients $k_i$ dus au chargement réparti total par la méthode directe	
Appui	$k_i = \frac{R_i}{P}$
A <sub>1</sub> et A <sub>6</sub>	0,0171
A <sub>2</sub> et A <sub>5</sub>	0,0433
A <sub>3</sub> et A <sub>4</sub>	0,0403
B <sub>1</sub> et B <sub>6</sub>	0,0490
B <sub>2</sub> et B <sub>5</sub>	0,1302
B <sub>3</sub> et B <sub>4</sub>	0,1219
C <sub>1</sub> et C <sub>6</sub>	0,0194
C <sub>2</sub> et C <sub>5</sub>	0,0502
C <sub>3</sub> et C <sub>4</sub>	0,0434
$2\sum k_i = 1,030$	

Les valeurs des coefficients de réactions  $k_i$  sont contenues respectivement dans les tableaux III, IV, V, les erreurs enregistrées s'élèvent à moins de 1 % pour le premier panneau, 2 % pour les deuxième et troisième panneaux.

### 2,23 Détermination des réactions dues à un tassement éventuel d'un appui.

Nous avons supposé que le tassement naissait au droit de l'appui B<sub>3</sub>. La détermination des réactions dues à ce tassement a été obtenue en appliquant une charge concentrée déterminée au droit de l'appui B<sub>3</sub>, celui-ci ayant été enlevé préalablement. Puis, nous avons mesuré la flèche en B<sub>3</sub> et les autres réactions à l'aide du dynamomètre à strain-gages.

TABLEAU III.

PREMIER PLANCHER			
Détermination par la méthode directe des coefficients $k_i$ dus au chargement réparti partiel en			
	$k_i = \frac{R_i}{P}$		$k_i = \frac{R_i}{P}$
A <sub>1</sub>	+ 0,2175	B <sub>4</sub>	~ 0
A <sub>2</sub>	+ 0,2835	B <sub>5</sub>	~ 0
A <sub>3</sub>	- 0,033	B <sub>6</sub>	~ 0
A <sub>4</sub>	~ 0	C <sub>1</sub>	- 0,026
A <sub>5</sub>	~ 0	C <sub>2</sub>	- 0,021
A <sub>6</sub>	~ 0	C <sub>3</sub>	- 0,014
B <sub>1</sub>	+ 0,268	C <sub>4</sub>	~ 0
B <sub>2</sub>	+ 0,352	C <sub>5</sub>	~ 0
B <sub>3</sub>	- 0,033	C <sub>6</sub>	~ 0
			$\Sigma k_i = 0,994$

TABLEAU V.

PREMIER PLANCHER			
Détermination par la méthode directe des coefficients $k_i$ dus au chargement réparti partiel en			
	$k_i = \frac{R_i}{P}$		$k_i = \frac{R_i}{P}$
A <sub>1</sub>	~ 0	B <sub>4</sub>	+ 0,344
A <sub>2</sub>	- 0,033	B <sub>5</sub>	- 0,040
A <sub>3</sub>	+ 0,2475	B <sub>6</sub>	~ 0
A <sub>4</sub>	+ 0,2475	C <sub>1</sub>	~ 0
A <sub>5</sub>	- 0,033	C <sub>2</sub>	- 0,012
A <sub>6</sub>	~ 0	C <sub>3</sub>	- 0,016
B <sub>1</sub>	~ 0	C <sub>4</sub>	- 0,016
B <sub>2</sub>	- 0,040	C <sub>5</sub>	- 0,012
B <sub>3</sub>	+ 0,344	C <sub>6</sub>	~ 0
			$\Sigma k_i = 0,981$

TABLEAU IV.

PREMIER PLANCHER			
Détermination par la méthode directe des coefficients $k_i$ dus au chargement réparti partiel en			
	$k_i = \frac{R_i}{P}$		$k_i = \frac{R_i}{P}$
A <sub>1</sub>	- 0,023	B <sub>4</sub>	- 0,028
A <sub>2</sub>	+ 0,248	B <sub>5</sub>	~ 0
A <sub>3</sub>	+ 0,264	B <sub>6</sub>	~ 0
A <sub>4</sub>	- 0,031	C <sub>1</sub>	- 0,012
A <sub>5</sub>	~ 0	C <sub>2</sub>	- 0,021
A <sub>6</sub>	~ 0	C <sub>3</sub>	- 0,021
B <sub>1</sub>	- 0,023	C <sub>4</sub>	- 0,012
B <sub>2</sub>	+ 0,331	C <sub>5</sub>	~ 0
B <sub>3</sub>	+ 0,350	C <sub>6</sub>	~ 0
			$\Sigma k_i = 1,022$

Pour passer des résultats de la maquette aux valeurs des réactions sur la construction réelle, nous avons dû faire intervenir le rapport de similitude et le rapport des modules d'élasticité de la maquette et du béton de la construction, dans la relation suivante :

$$\frac{\left(\frac{f}{P}\right) \text{réel}}{\left(\frac{f}{P}\right) \text{maquette}} = \frac{E \text{ maquette} \times e}{E \text{ réel}}$$

avec :

$f$  : flèche sous B<sub>3</sub>;

P : charge concentrée appliquée en B<sub>3</sub> réalisant le tassement.

Nous avons pris arbitrairement un rapport  $\frac{E \text{ maquette}}{E \text{ réel}} = 7$ , ce qui suppose un béton de module d'élasticité voisin de 300 000 kg/cm<sup>2</sup>.

Cet essai a permis d'établir le tableau VI donnant les valeurs des réactions sur la construction réelle pour un tassement que nous avons posé égal à  $L_y/800$  soit 0,845 cm. Ce même tableau fait la comparaison avec les réactions dues au chargement uniformément réparti total correspondant à une charge de 2 100 kg/m<sup>2</sup>. Nous voyons que pour B<sub>3</sub>, la réaction due au tassement atteint environ 25 % de la réaction due au chargement réparti.

### 2,3 Détermination des moments fléchissants.

La détermination des moments fléchissants a fait l'objet de deux études. Nous avons d'abord déterminé, à l'aide de vernis craquelants qualitatifs, les réseaux d'isostatiques dans les deux cas de chargements répartis, complet et partiel. Puis, à partir de la forme de ces réseaux, nous avons collé un certain nombre d'extensomètres à fil résistant qui ont permis de mesurer les déformations

TABLEAU VI.

PREMIER PLANCHER		
Appui	Réactions, en tonne, sur la construction réelle dues à un tassement du poteau B3 égal à $\frac{Ly}{800} = 0,845 \text{ cm}$	Réactions, en tonne, sur la construction réelle dues au chargement uniformément réparti complet $q = 2,1 \text{ t/m}^2$
A <sub>1</sub>	~ 0	+ 14,75
A <sub>2</sub>	- 0,97	+ 37,15
A <sub>3</sub>	+ 6,32	+ 34,70
A <sub>4</sub>	- 0,66	+ 34,70
A <sub>5</sub>	~ 0	+ 37,15
A <sub>6</sub>	~ 0	+ 14,75
B <sub>1</sub>	- 3,00	+ 42,20
B <sub>2</sub>	- 10,90	+ 112,20
B <sub>3</sub>	- 26,55	+ 105,00
B <sub>4</sub>	+ 11,60	+ 105,00
B <sub>5</sub>	- 2,31	+ 112,20
B <sub>6</sub>	~ 0	+ 42,20
C <sub>1</sub>	~ 0	+ 16,72
C <sub>2</sub>	- 0,97	+ 43,40
C <sub>3</sub>	+ 5,96	+ 37,40
C <sub>4</sub>	- 0,66	+ 37,40
C <sub>5</sub>	~ 0	+ 43,40
C <sub>6</sub>	~ 0	+ 16,72

relatives de la dalle aux points d'application des extensomètres. Les moments fléchissants ont été déduits de la valeur de ces déformations relatives.

### 2,31 Étude du problème à l'aide de vernis craquelants qualitatifs.

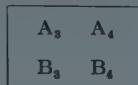
L'obtention des réseaux d'isostatiques S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>, correspondant respectivement à la contrainte normale principale maximum en valeur algébrique et à la contrainte normale principale minimum (la contrainte normale étant positive quand elle détermine une traction), nécessite deux modes opératoires différents.

Le réseau S<sub>2</sub>, ou réseau de deuxième espèce, a été obtenu par un chargement direct, c'est-à-dire que la dalle a été chargée, une fois le vernis séché, donc fragile. Le réseau S<sub>1</sub>, ou réseau de première espèce, a nécessité la mise en charge de la dalle, alors que le vernis était encore plastique, le déchargement réalisé quand le vernis était sec a permis l'obtention du réseau S<sub>1</sub>.



FIG. 8. — Vernis craquelants qualitatifs. Chargement isostatique S<sub>1</sub>.

Les figures 8 et 9 représentent les réseaux S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> obtenus lors du chargement total. Les figures 10 et 11 représentent les réseaux nés du chargement partiel du panneau.



Dans chacun des deux cas de chargement, les superpositions des deux réseaux d'isostatiques obtenus expérimentalement et, par conséquent, incomplets par endroits, ont permis de définir avec une précision suffisante les réseaux complets d'isostatiques.



FIG. 9. — Chargement total.  
Vernis craquelant qualitatif. Isostatiques S<sub>2</sub>.

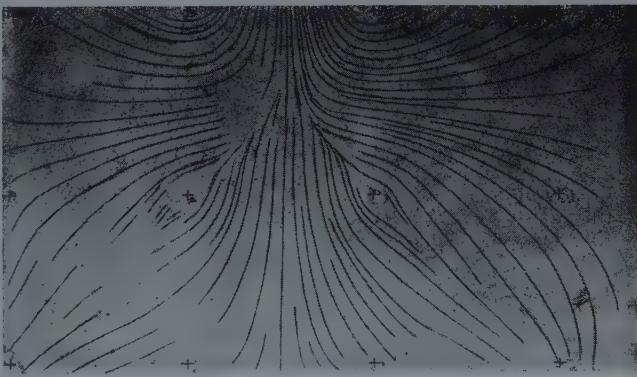


FIG. 10. — Vernis craquelants. Chargement partiel. Isostatiques S<sub>1</sub>.



FIG. 11. — Vernis craquelants qualitatifs.  
Chargement partiel. Isostatiques S<sub>2</sub>.

Ces réseaux sont représentés (p. 683), figure 12, pour le chargement uniformément réparti total et, figure 13, pour le chargement uniformément réparti partiel.

L'interprétation de la forme des familles d'isostatiques ne peut faire appel aux relations simples de Maxwell car le problème n'est pas un problème d'élasticité plane. L'annexe jointe à l'étude traite de l'interprétation de la forme des craquelures des vernis qualitatifs dans le cas d'un problème d'élasticité à trois dimensions et de son application au cas particulier du plancher-dalle. Nous verrons dans cette étude que la connaissance des variations de l'effort tranchant est nécessaire à la détermination de la variation des contraintes normales principales le long d'une isostatique et, par conséquent, des moments fléchissants dans la dalle. En toute rigueur nous ne connaissons qu'approximativement les variations de cet effort tranchant dans la dalle, mais d'une manière suffisante pour coller les strain-gages avec une précision satisfaisante, tant au point de vue emplacement qu'au point de vue direction.

### 2.32 Mesure des déformations relatives.

Nous avons utilisé deux sortes d'extensomètres à fil résistant pour la mesure des déformations relatives : des extensomètres doubles en croix, de fabrication Baldwin, aux emplacements où la connaissance des deux contraintes principales était nécessaire et des extensomètres simples, de fabrication Huggenberger, à faible base de mesure, là où la détermination d'une seule des contraintes principales était suffisante. Le schéma des emplacements des strain-gages est représenté sur la figure 4.

Afin d'obtenir le maximum de précision, nous avons soumis la dalle à plusieurs cycles de chargement et nous avons effectué plusieurs mesures pour chaque cycle. La figure 14 donne, par exemple, la courbe de variation des déformations relatives en fonction de la charge, pendant le premier cycle, de l'extensomètre n° 4 ; nous voyons qu'il est facile, à l'aide d'une telle courbe, de déterminer avec une bonne précision le facteur d'influence de la charge au point considéré.

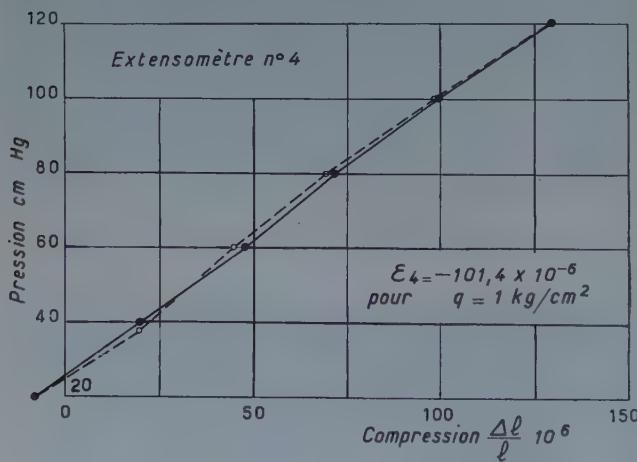


FIG. 14. — Mesure des déformations relatives.  
Charge uniformément répartie complète.

### 2.33 Détermination des diagrammes des moments fléchissants $M_x$ et $M_y$ .

Les diagrammes des moments fléchissants  $M_x$  et  $M_y$  ont été déterminés, dans les deux cas de chargement uniformément réparti, complet ou partiel, à partir de la connaissance des déformations relatives, de l'épaisseur et du module d'élasticité longitudinal du plancher-dalle.

La plaque qui nous a servi à réaliser la maquette du plancher-dalle présentant inévitablement quelques légères variations d'épaisseur sur toute sa longueur, nous avons mesuré avec précision cette épaisseur en un certain nombre de points et nous avons admis une épaisseur moyenne s'élevant à 6,84 mm. D'autre part, le module d'élasticité longitudinal de l'acier de la maquette a été mesuré à l'aide de l'appareil Florisson et trouvé égal à 21 700 kg/mm<sup>2</sup>.

A partir des déformations relatives  $\varepsilon_x$  et  $\varepsilon_y$ , correspondant respectivement aux directions principales parallèles aux axes  $O_x$  et  $O_y$ , la valeur des moments fléchissants  $M_x$  et  $M_y$ , se déduit des expressions suivantes :

$$M_x = \frac{EW}{1 - \eta^2} (\varepsilon_x - \eta \varepsilon_y)$$

$$M_y = \frac{EW}{1 - \eta^2} (\varepsilon_y - \eta \varepsilon_x)$$

W étant le module d'inertie de la dalle, en cm<sup>3</sup>/cm.

Puis, les coefficients de moments  $K_i$  s'obtiennent directement à l'aide de la relation :

$$K_i = \frac{Mx_i}{ql_x^2}$$

ou :

$$K_i = \frac{My_i}{ql_y^2}$$

suivant la direction de l'extensomètre.

Les tableaux VII et VIII donnent la valeur de ces coefficients pour le chargement uniformément réparti total et le chargement uniformément réparti sur le panneau

A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>

TABLEAU VII.

Numéro de l'extensomètre	PREMIER PLANCHER	
	Chargement uniformément réparti :	
	complet $K_i = \frac{M_i}{ql^2}$	sur le panneau $K_i = \frac{M_i}{ql^2}$
1	+ 0,070	+ 0,047
2	- 0,011	+ 0,018
3	+ 0,016	+ 0,031
4	- 0,062	+ 0,010
5	+ 0,058	+ 0,084
6	+ 0,072	+ 0,071
7	- 0,009	+ 0,004
8	+ 0,089	+ 0,053
9	- 0,322	- 0,076
10	- 0,314	- 0,081
11	+ 0,058	+ 0,054
12	- 0,071	- 0,018
13	0	+ 0,044
14	+ 0,050	+ 0,080
15	- 0,075	- 0,039
16	+ 0,075	+ 0,102
17	- 0,185	- 0,114

Bien entendu, ces coefficients  $K_i$  étant sans dimensions, sont des invariants et sont valables également pour la construction réelle.

Les diagrammes de répartition des coefficients  $K_i$  le long des différentes sections explorées par les extensomètres font l'objet de la figure 15.

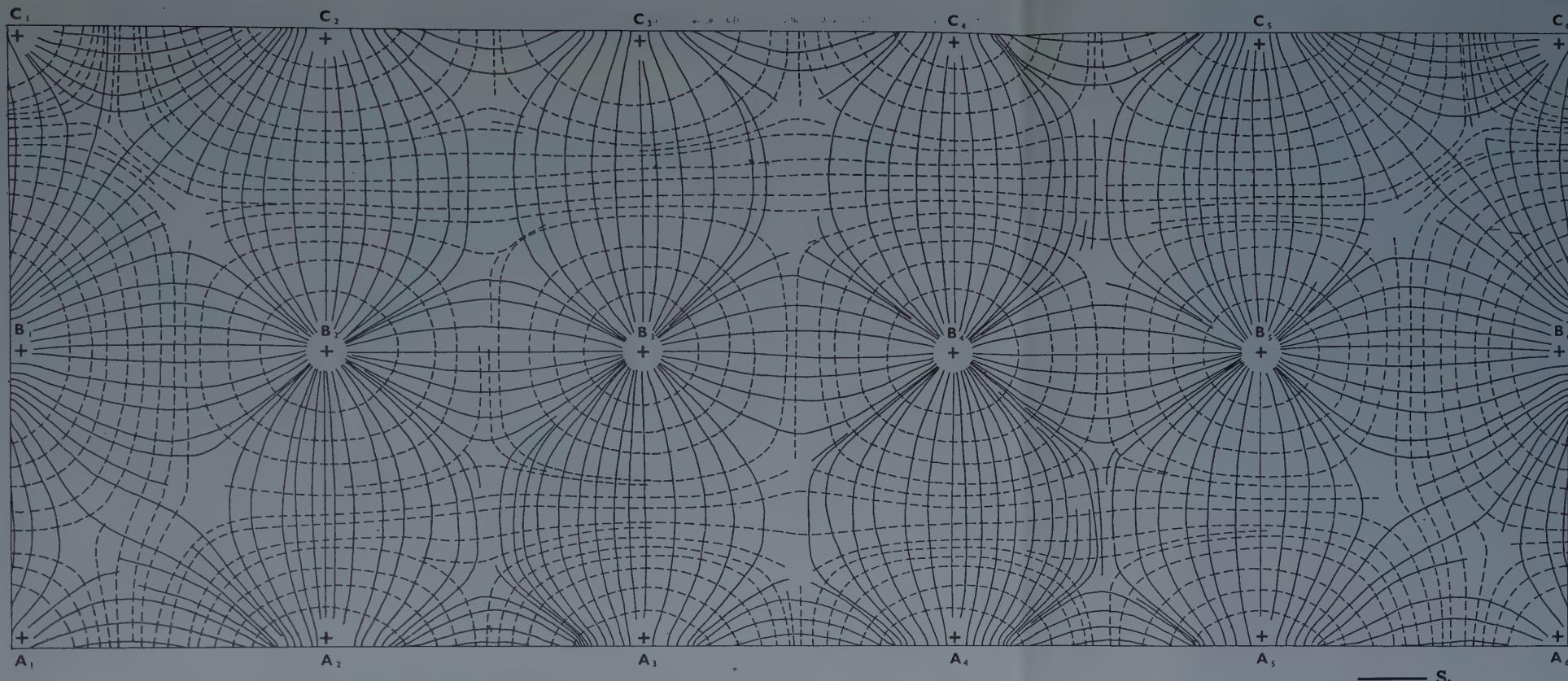


FIG. 12. — Première maquette. Chargement réparti complet. Réseaux des lignes isostatiques  $S_1$  et  $S_2$  obtenus sur la face inférieure de la plaque.

$S_1$   
-----  
 $S_2$

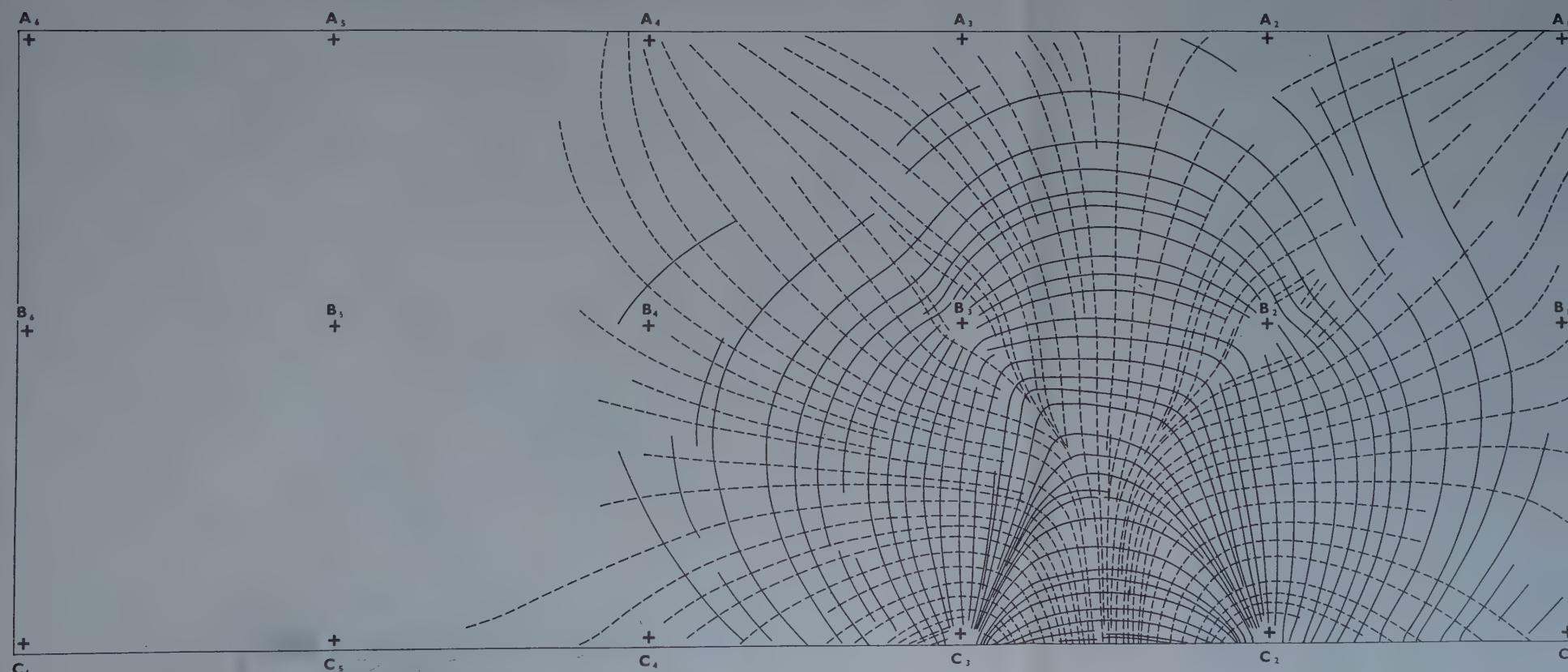


FIG. 13. — Première maquette. Chargement réparti partiel sur le panneau  $C_3B_3B_2C_2$ . Réseau des lignes isostatiques  $S_1$  et  $S_2$  obtenus sur la face inférieure de la plaque.

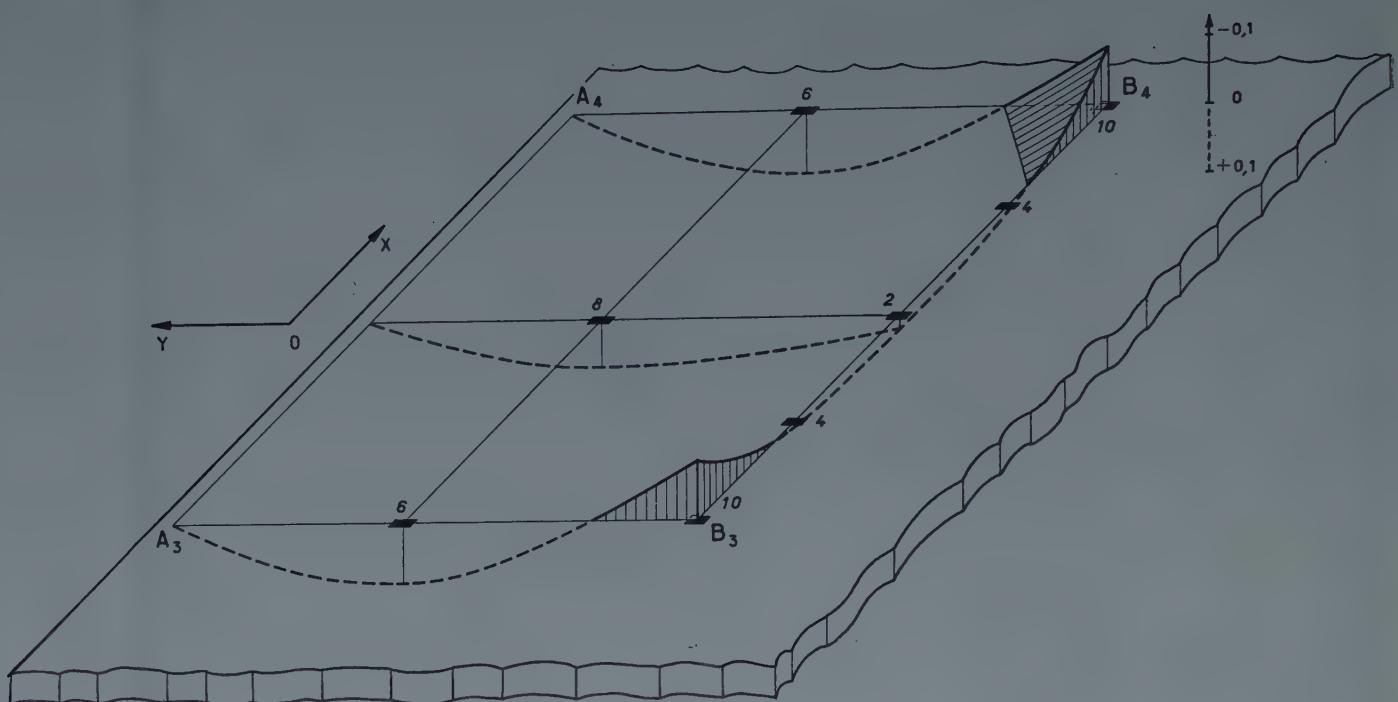


FIG. 15 a. — Première maquette. Charge uniformément répartie partielle.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_y}{q l^2 y}$$

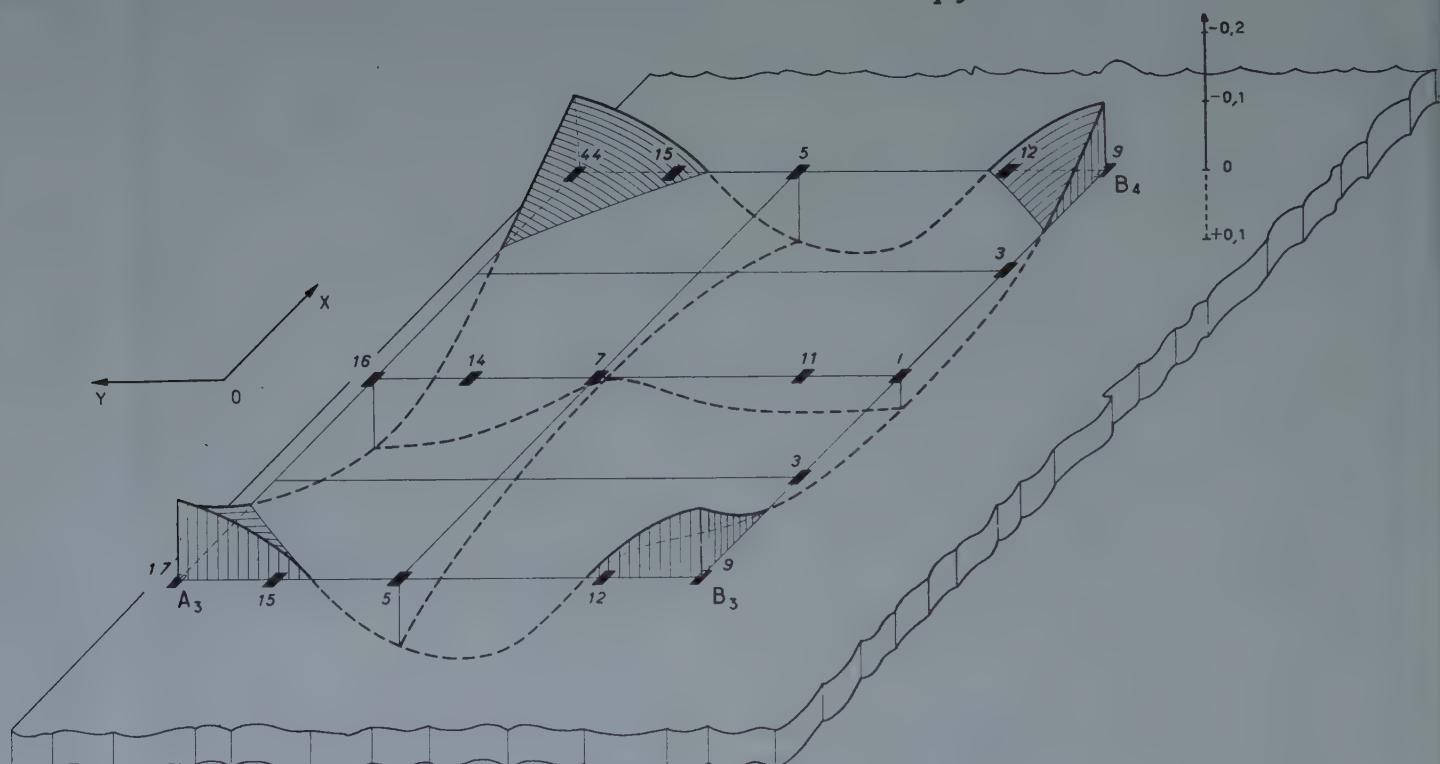


FIG. 15 b. — Première maquette. Charge uniformément répartie partielle.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_x}{q l^2 x}$$

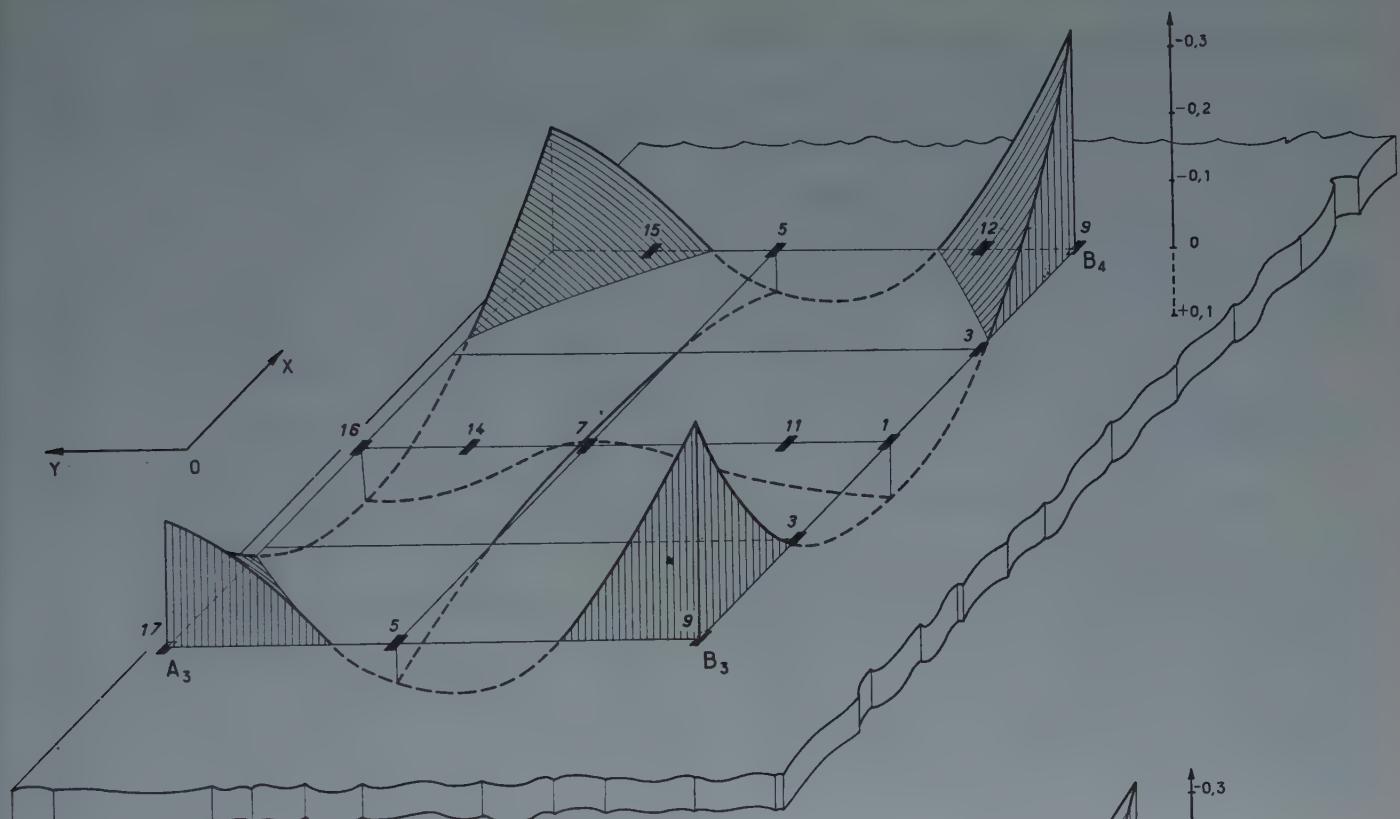


FIG. 15 c. — Première maquette. Charge uniformément répartie complète.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_x}{q l^2 x}$$

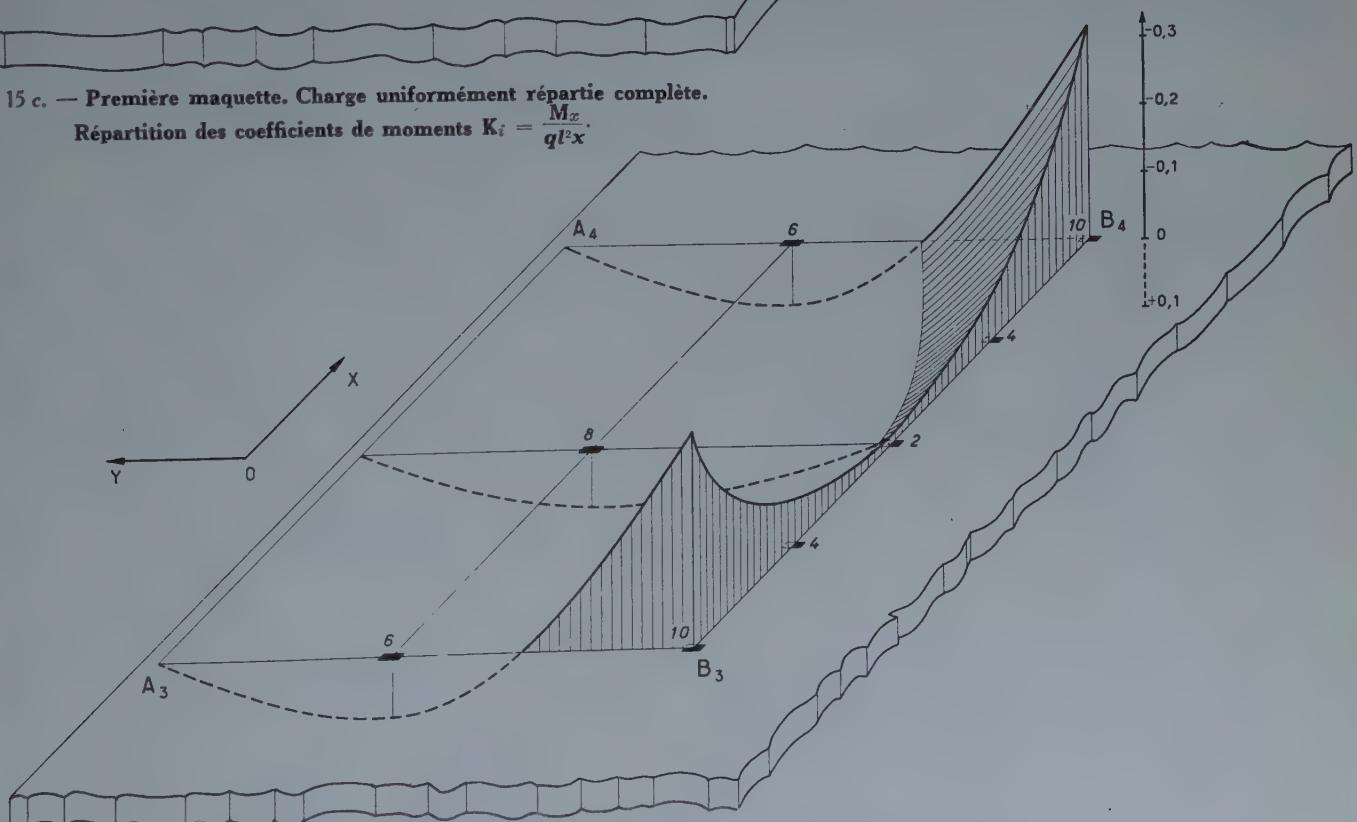


FIG. 15 d. — Première maquette. Charge uniformément répartie complète.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_y}{q l^2 y}$$

### 2,34 Moments fléchissants supplémentaires dus au tassement éventuel d'un poteau.

Le processus d'essai reste identique à celui observé pour déterminer les réactions supplémentaires dues au tassement d'un poteau. Nous avons supposé que le tassement se produisait au droit de l'appui  $B_4$ , symétrique du point  $B_3$ .

La réalisation du tassement a consisté en l'application d'une charge concentrée au droit de  $B_4$ , le poteau  $B_4$  étant enlevé.

Nous avons relevé au cours de ce chargement les déformations relatives d'un certain nombre d'extensomètres. Pour obtenir les valeurs des moments sur la construction réelle, il suffit d'appliquer la règle suivante :

$$\frac{\left[ \frac{f}{m_f} \right] \text{réel}}{\left[ \frac{f}{m_f} \right] \text{maquette}} = \frac{E \text{ maquette} \times e}{E \text{ réel}}$$

avec :

$$\begin{aligned} f &= \text{flèche sous } B_3; \\ m_f &= \text{moment fléchissant unitaire;} \\ \frac{E \text{ maquette}}{E \text{ réel}} &= 7. \end{aligned}$$

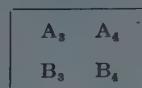
Cette relation est identique à celle qui a donné les réactions dues à un tassement sous  $B_3$ , car la charge  $P$  et le moment fléchissant unitaire  $m_f$  ont la même dimension. Le tableau IX fournit la valeur des moments fléchissants dus à un tassement sous  $B_4$  égal à  $L_y/800$ , soit 0,845 cm et fait la comparaison avec les moments fléchissants dus à une charge répartie complète égale à 2 100 kg/m<sup>2</sup>. Nous pouvons constater que sous le poteau  $B_4$  le moment s'inverse, ce qui est normal et atteint en valeur absolue la proportion non négligeable de 17,5 % du moment fléchissant sous chargement réparti.

TABLEAU IX.

PREMIER PLANCHER		
Numéro de l'extensomètre	Moments fléchissants en tm/m sur la construction réelle dus à un tassement du poteau $B_4$ égal à : $\frac{L_y}{800} = 0,845 \text{ cm}$	Moments fléchissants en tm/m sur la construction réelle dus au chargement uniformément réparti complet ( $q = 2,1 \text{ t/m}^2$ )
1	+ 1,34	+ 6,69
2	+ 1,05	- 1,05
3	+ 3,04	+ 1,53
4	+ 3,58	- 5,92
5	+ 1,63	+ 5,54
6	+ 0,87	+ 6,87
7	+ 0,16	- 0,86
8	+ 0,21	+ 8,50
10	+ 5,25	- 30

### 2,4 Détermination des flèches.

Nous avons mesuré les flèches à l'aide de comparateurs, dans les deux cas de chargement uniformément réparti, complet et partiel. Nous n'avons fait cette mesure que pour le point situé au droit du milieu du panneau.



La figure 16 fournit les courbes des flèches en fonction de la pression de mercure et les coefficients d'influence en cm<sup>3</sup>/g, valables pour la maquette. Pour passer de la maquette à la construction réelle, il suffit d'appliquer la relation suivante liant les facteurs d'influence  $\alpha R$  et  $\alpha m$  relatifs, respectivement, à la construction réelle et à la maquette :

$$\alpha R = \alpha m \times \frac{E \text{ maquette}}{E \text{ réel} \times e}$$

si nous proposons  $\frac{E \text{ maquette}}{E \text{ réel}} = 7$ , la flèche au centre du panneau, pour une surcharge de 2 100 kg/m<sup>2</sup> atteint :

1,25 cm pour le chargement total,

et :

0,72 cm pour le chargement partiel.

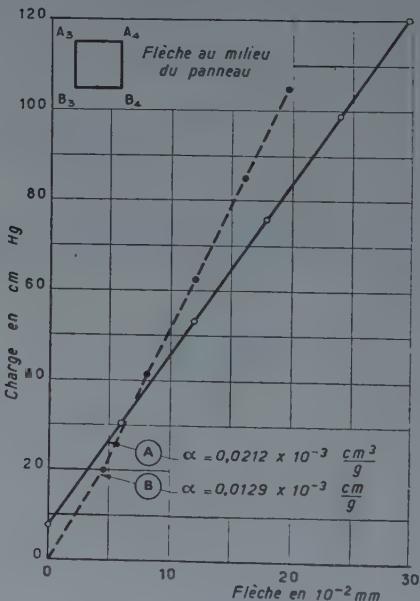


FIG. 16.  
A. — Charge uniformément répartie totale;  
B. — Charge uniformément répartie partielle.

## ÉTUDE DU MODÈLE RÉDUIT AVEC APPUIS SIMPLES CONTINUS EN BORDURE ET UNE RANGÉE MÉDIANE DE SIX POTEAUX

### 3,1 Conditions des essais.

Cet essai a été fait avec le même appareillage que celui du premier essai; en particulier, la plaque qui figure la surface de la dalle a les mêmes dimensions que celle du précédent plancher, ce qui nous a permis d'utiliser les mêmes boîtes de chargement.

Deux cas de chargements ont été réalisés; le chargement uniformément réparti complet et le chargement uniformément réparti sur la surface d'un panneau.

Nous avons déterminé les réactions d'appuis à l'aide du dynamomètre à strain-gages utilisé pour le premier essai (fig. 2).

Nous avons étudié la variation du moment fléchissant au-dessus d'un appui, en fonction du diamètre de la tête de l'appui; les différents diamètres utilisés sont 5, 10, 15, 20 mm.

### 3,2 Détermination des réactions d'appui.

Nous avons déterminé les réactions d'appuis au droit des poteaux  $B_1$ ,  $B_2$  et  $B_3$  (fig. 17), dans le cas d'un chargement réparti complet. Par raison de symétrie, ces réactions sont respectivement égales à celles des poteaux  $B_4$ ,  $B_5$  et  $B_6$ . Les valeurs de ces réactions figurent sur le tableau X. Ces valeurs sont exprimées sous forme de coefficients  $k'_i$ , qui relient la valeur de chaque réaction au produit  $ql^2$ .

$$R_i = k'_i ql^2$$

$l$  étant la distance entre deux poteaux ou la demi-largeur de la plaque.

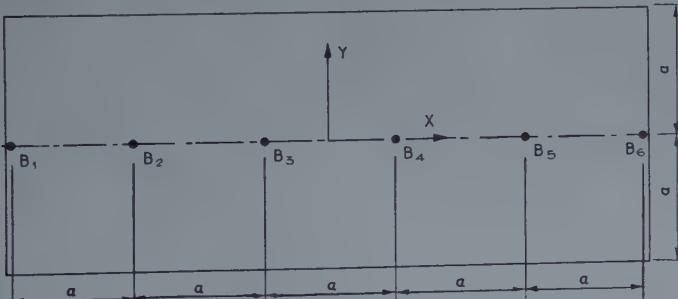


FIG. 17.

TABLEAU X.

DEUXIÈME PLANCHER	
Détermination des coefficients $k'_i$ dus au chargement réparti total	
Appui	$k'_i = \frac{R_i}{ql^2}$
$B_1$ ou $B_6$	0,725
$B_2$ ou $B_5$	1,245
$B_3$ ou $B_4$	1,225

### 3,3 Détermination des moments fléchissants.

La détermination des moments fléchissants a été obtenue comme pour la première maquette, à partir de la valeur des déformations relatives relevées en différents points, à l'aide d'extensomètres à fil résistant. La situation et la numérotation de ces extensomètres sont identiques à celles de la première maquette.

Nous avons considéré les deux cas de chargements suivants : chargement uniformément réparti total et chargement uniformément réparti partiel sur le panneau limité par les poteaux  $B_3$  et  $B_4$ .

#### 3,31 Chargement uniformément réparti total.

Le tableau XI donne la valeur des coefficients de moments  $K_i$  correspondant à chaque strain-gage et la figure 18 représente les diagrammes de répartition de ces coefficients le long de chaque section étudiée.

TABLEAU XI.

DEUXIÈME PLANCHER	
Chargement uniformément réparti total. Coefficients de moments	
Numéro de l'extensomètre	$K_i = \frac{M_i}{ql^2}$
1	+ 0,062
2	- 0,005
3	+ 0,014
4	- 0,052
5	+ 0,013
6	+ 0,095
7	+ 0,028
8	+ 0,082
D = 5 { 9	- 0,349
10	- 0,355
D = 10 { 9	- 0,323
10	- 0,332
D = 15 { 9	- 0,275
10	- 0,298
D = 20 { 9	- 0,199
10	- 0,238
11	+ 0,042
12	- 0,055
13	0
15	0

D'autre part, nous avons fait varier le diamètre de la tête d'un poteau et nous avons étudié les variations correspondantes des moments principaux sur appui. Nous avons utilisé à cet effet deux extensomètres de longueur de base de 3 mm suffisamment courte à notre sens pour subir avec précision l'influence du diamètre du poteau, dont la valeur minimum est 5 mm. Nous avons ainsi obtenu les courbes représentées figure 19. Il apparaît nettement que les moments sur appuis, qui sont prépondérants dans la construction puisqu'ils sont les plus forts, varient considérablement en fonction du diamètre du poteau. Ainsi le moment  $M_9$  atteint pour un diamètre de 20 mm seulement 57 % de sa valeur

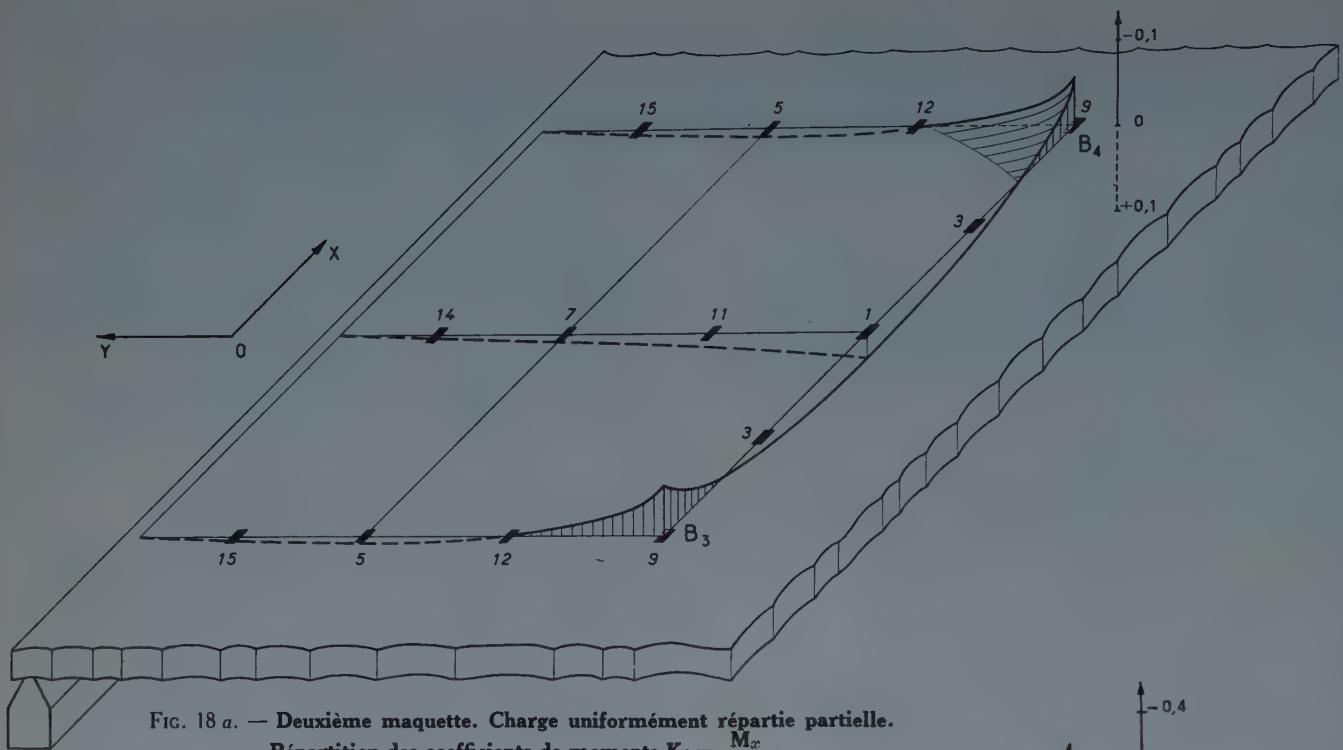


FIG. 18 a. — Deuxième maquette. Charge uniformément répartie partielle.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_x}{ql^2x}.$$

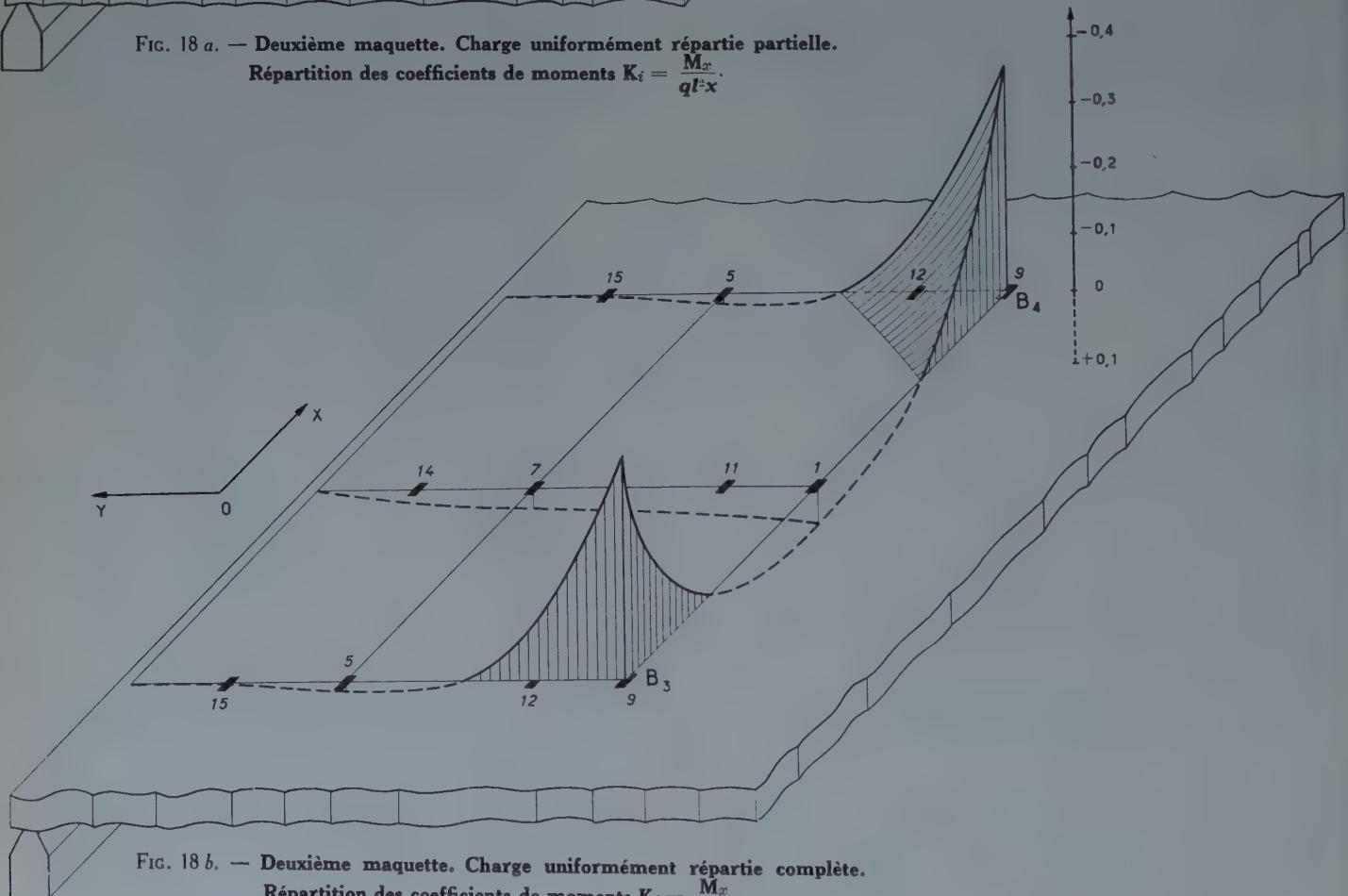


FIG. 18 b. — Deuxième maquette. Charge uniformément répartie complète.

$$\text{Répartition des coefficients de moments } K_i = \frac{M_x}{ql^2x}.$$

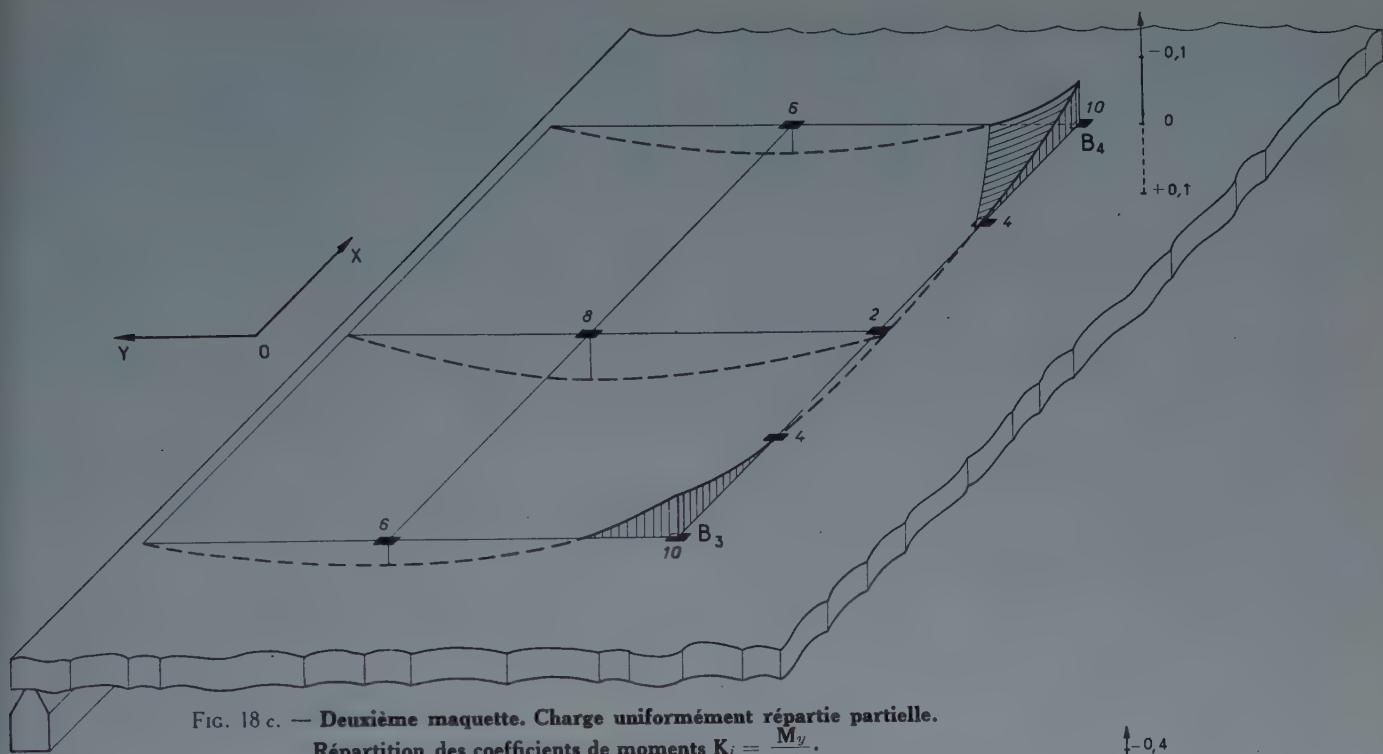


FIG. 18 c. — Deuxième maquette. Charge uniformément répartie partielle.  
Répartition des coefficients de moments  $K_i = \frac{M_y}{q \cdot y}$ .

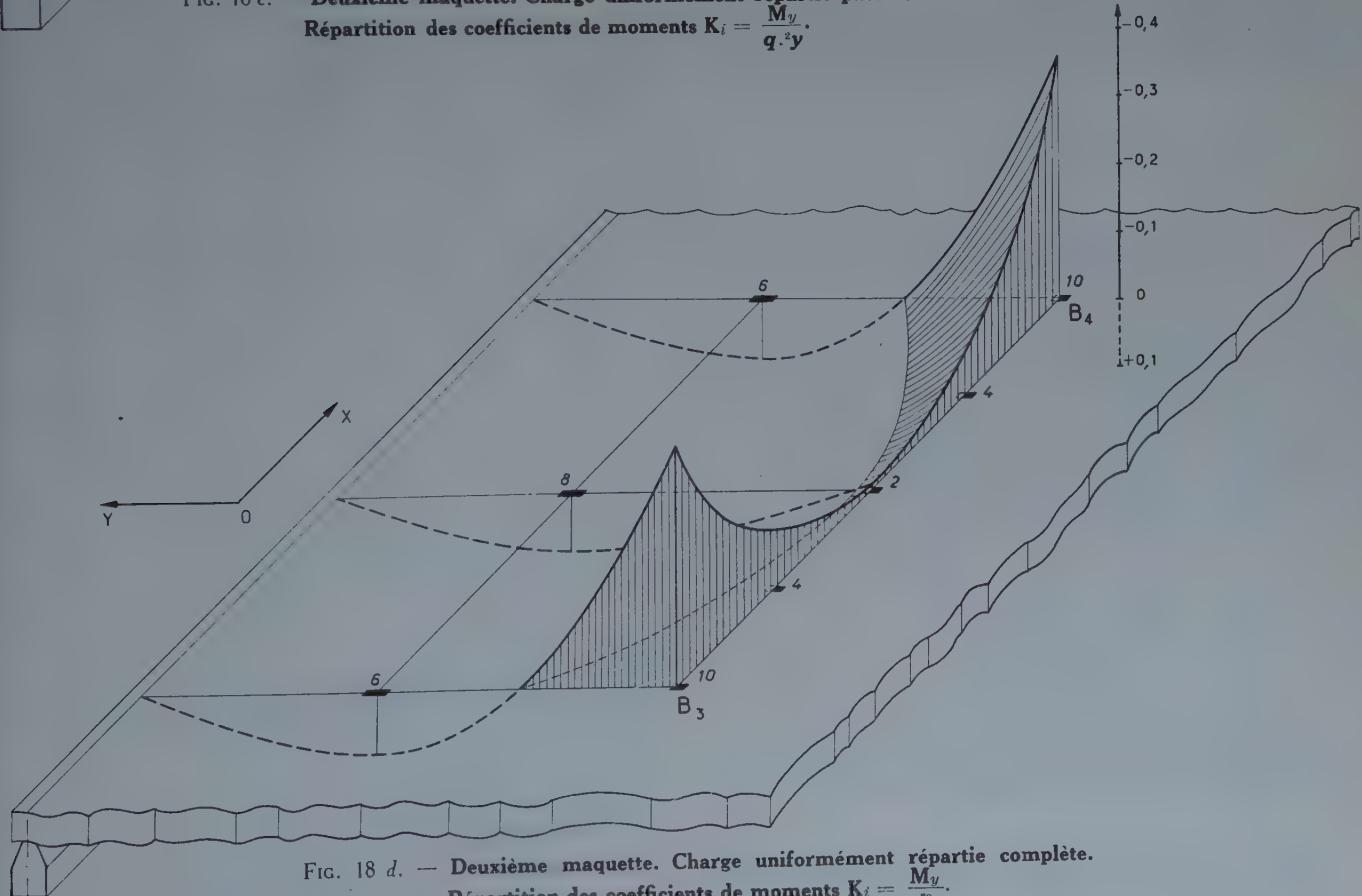


FIG. 18 d. — Deuxième maquette. Charge uniformément répartie complète.  
Répartition des coefficients de moments  $K_i = \frac{M_y}{q l^2 y}$ .

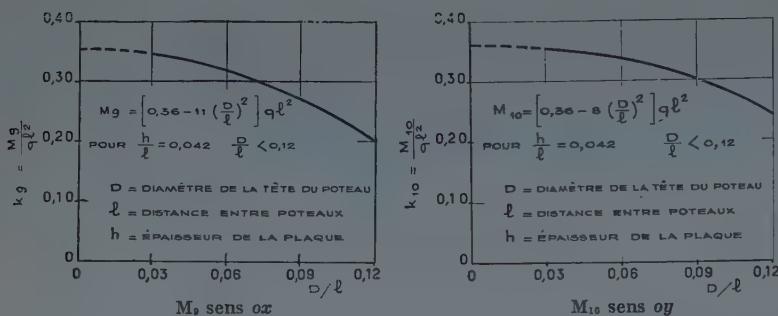


FIG. 19. — Variation des moments sur appui en fonction du diamètre de la tête du poteau.

pour un diamètre de 5 mm. Nous avons traduit ces courbes sous forme de relations en fonction du rapport  $D/l$ .

D étant le diamètre de l'appui  
et

l la distance entre deux appuis consécutifs.

Nous ne prétendons pas que ces relations soient générales pour tous les planchers à deux travées et à bordure rectiligne, c'est pourquoi nous les avons caractérisées par le paramètre  $h/l$ ,  $h$  étant l'épaisseur de la dalle.

### 3.32 Chargement uniformément réparti partiel.

L'essai a été fait avec un seul diamètre de poteau égal à 5 mm. Le tableau XII donne le coefficient  $K_i$  et la figure 18 les diagrammes de variation de  $K_i$  le long de chaque section.

TABLEAU XII.

DEUXIÈME PLANCHER	
Chargement uniformément réparti partiel Coefficients de moments	
Numéro de l'extensomètre	$K_i = \frac{M_i}{q l^2}$
1	+ 0,033
2	+ 0,009
3	+ 0,017
4	- 0,004
5	+ 0,007
6	+ 0,0405
7	+ 0,039
8	+ 0,067
9	- 0,067
10	- 0,063
11	+ 0,034
12	- 0,009

### 3.4 Comparaison avec les résultats de calcul.

M. L'HERMITE a calculé les réactions et les moments fléchissants sur une dalle de longueur infinie à deux travées et deux appuis continus de bordure (1), supportée suivant son axe par

une rangée de poteaux équidistants déterminant les panneaux carrés de côté  $a/2$ .

Bien que le plancher-dalle que nous avons essayé ne soit pas infini, nous pensons que la comparaison des résultats d'essais obtenus sur le panneau central peuvent être comparés avec les résultats de calcul du même plancher supposé infini, sans faire intervenir d'erreur appréciable.

Envisageons, en premier lieu, le cas du chargement uniformément réparti total :

La réaction d'appui calculée a pour valeur :

$$R_0 = 0,312 q a^2$$

alors que les réactions des appuis  $B_2$  et  $B_3$  s'élèvent respectivement à :

$$R_{B_2} = 0,311 q a^2$$

$$R_{B_3} = 0,307 q a^2.$$

Ces résultats sont donc très comparables. Les moments calculés sont représentés figure 20.

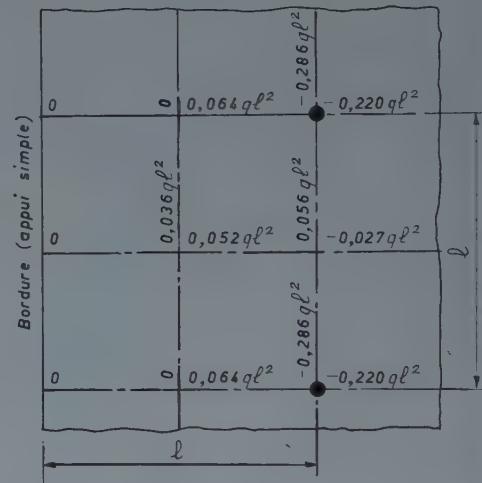


FIG. 20.

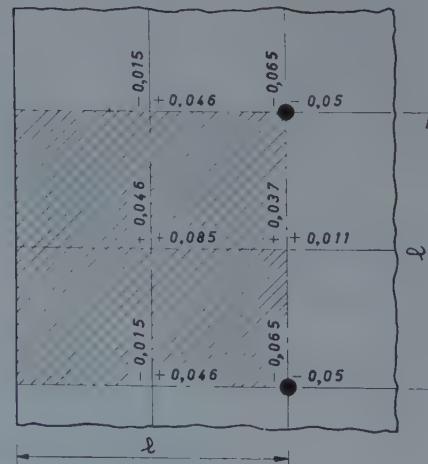


FIG. 21.

(1) R. L'HERMITE, « Notes à propos de la théorie des plaques fléchies et des planchers-champignons », Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, juin 1951, n° 12.

Les différences les plus importantes ont lieu au-dessus de l'appui. La valeur des moments calculés est obtenue à partir d'une évaluation du moment dû uniquement à la charge concentrée créée par la réaction d'appui, évaluation correspondant à une valeur déterminée de la surface d'appui. Or, les essais ont mis en évidence l'importance considérable du diamètre d'appui. La valeur calculée est comprise dans les limites obtenues par essai, mais ces limites, comme nous l'avons vu, sont assez éloignées, si bien que le calcul semble offrir des garanties assez précaires.

Le chargement uniformément partiel, c'est-à-dire sur un panneau, n'a pas donné lieu à des mesures de réactions d'appui. Le calcul des moments fléchissants a donné les résultats indiqués par la figure 21. La mesure de ces moments a été faite pour un diamètre d'appui de 5 mm. La valeur des moments mesurés est très comparable à celle des moments calculés mais nous devons faire la même restriction que précédemment pour la valeur des moments sur appuis. Il est, en effet, probable que la comparaison des valeurs calculées et mesurées de ces moments n'aurait pas été satisfaisante si nous avions fait l'essai avec des diamètres d'appui différents de 5 mm.

#### 4

### CONCLUSIONS

De l'étude de ces deux modèles réduits de plancher-dalle sans champignons et de la comparaison des résultats d'essais et de calculs, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> En ce qui concerne la détermination des réactions d'appuis, les méthodes de calcul employées fournissent des valeurs très comparables à celles obtenues par essai.

2<sup>o</sup> Nous aboutissons à la même conclusion en comparant les moments fléchissants mesurés et calculés sur des points quelconques de la dalle, exceptés les moments fléchissants sur appuis. En effet, pour ceux-ci, la surface d'appui a une grande importance (voir les diagrammes de la figure 19). Leur valeur peut

varier considérablement, de l'ordre de 50 % pour un rapport D/, passant de 0,03 à 0,12. Cette conclusion est d'autant plus importante que les moments fléchissants sur appuis, étant les moments maxima, conditionnent l'épaisseur de la dalle et, par conséquent, le poids de la construction. Or, la méthode de calcul employée est basée sur une valeur moyenne sur appui qui naît dans la dalle uniquement sous la charge de l'appui (voir « notes à propos de la théorie des plaques et des planchers-champignons » de R. L'HERMITE).

Pourtant, comme les poteaux de la maquette ne sont pas soudés et étant donné que le moment fléchissant qui a le plus d'intérêt du point de vue construction, se situe à la périphérie du poteau et non au droit de l'axe de ce poteau, nous avons pensé qu'il était utile d'effectuer des essais complémentaires dont les résultats soient directement applicables en pratique. Comme on pourra le voir dans l'annexe II, qui rend compte de ces essais, l'influence du diamètre du poteau soudé sur la valeur du moment à la périphérie du poteau, bien qu'encore non négligeable, apparaît moins essentielle.

3<sup>o</sup> Du point de vue réalisation pratique, nous avons mesuré à l'aide de la première maquette les réactions et les moments fléchissants supplémentaires dus à un tassement éventuel d'un appui, que nous avons évalué à L/800, valeur qui peut être atteinte couramment. Les valeurs obtenues sont loin d'être négligeables (25 % de la réaction maximum et 17 % du moment sur appui).

En résumé, l'étude sous forme de modèles réduits de ces deux types de planchers-dalles sans champignons a donné les résultats escomptés. Elle nous a permis de déterminer avec une bonne précision, outre la répartition théorique des moments fléchissants et la valeur des réactions sous les différents chargements que pourront supporter ces constructions, l'influence sensible d'un affaissement possible d'un poteau et l'importance estimable de la surface d'appui d'un poteau dans la valeur du moment fléchissant sur appui.

#### ANNEXE I

#### 5

### Remarques sur l'interprétation de la forme des isostatiques obtenues sur la surface d'un volume, à l'aide d'un vernis craquelant. Application au cas particulier des plaques.

#### Symboles et définitions.

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  : contraintes principales normales.

Signe de ces contraintes : les tractions sont positives.

$S_1, S_2, S_3$  : lignes isostatiques correspondant respectivement à  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ;

$\rho_{12}$  et  $\rho_{21}$  : rayons de courbures de  $S_1$  et  $S_2$  dans le plan  $S_1, S_2$ ;

$\rho_{13}$  et  $\rho_{31}$  : rayons de courbures de  $S_1$  et  $S_3$  dans le plan  $S_1, S_3$ ;

$\rho_{23}$  et  $\rho_{32}$  : rayons de courbures de  $S_2$  et  $S_3$  dans le plan  $S_2, S_3$ ;

$\tau$  : effort tangentiel.

Signes de  $S_1$  et  $S_2$  : positif vers la concavité.

LAMÉ et MAXWELL ont donné les relations liant les variations des contraintes principales le long des isostatiques à la valeur de ces contraintes et des rayons de courbure des isostatiques, sous la forme des trois égalités suivantes :

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\rho_{12}} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\rho_{13}} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_2}{\partial S_2} + \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\rho_{23}} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\rho_{21}} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_3}{\partial S_3} + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\rho_{31}} + \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{\rho_{32}} = 0$$

L'étude d'une pièce à trois dimensions quelconque à l'aide d'un vernis craquelant, ne fournit que les isostatiques  $S_1$  et  $S_2$ , naissant à la surface de cette pièce; c'est pourquoi nous avons établi ces mêmes relations sous une autre forme plus commode d'emploi et plus adaptée aux applications des vernis craquelants.

Nous ne considérerons que les isostatiques  $S_1$  et  $S_2$ , visibles sur la surface du volume. Nous écrirons les équations d'équilibre d'un volume élémentaire formé par les portions d'isostatiques  $dS_1$ ,  $dS_2$ , et dont la hauteur sera égale à  $dz$ , l'axe  $oz$  étant normal à la surface  $dS_1-dS_2$ . La base de ce volume élémentaire est une surface parallèle à la surface  $dS_1-dS_2$  (fig. 22).

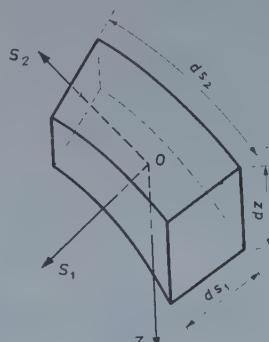


FIG. 22.

L'isolement de ce volume élémentaire fait apparaître les forces extérieures unitaires données par la figure 23 dans une coupe suivant le plan  $OS_1, OS_2$  et par la figure 24 dans une coupe suivant le plan  $OS_1, oz$  (1).

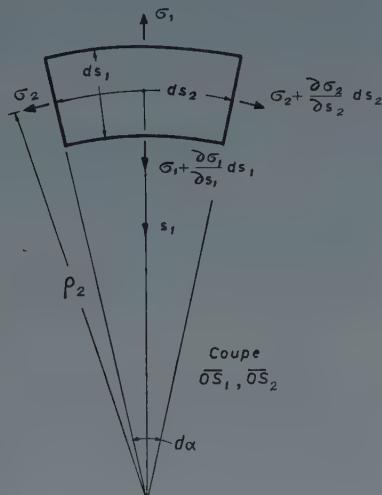


FIG. 23.

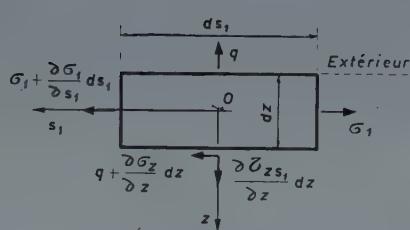


FIG. 24.

L'équation d'équilibre obtenue par la projection des forces extérieures sur l'axe  $OS_1$ , est la suivante :

$$\left[ \sigma_2 - \frac{dS_1}{2} \right] d\alpha \left[ \sigma_1 + \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1} dS_1 \right] dz - \left[ p_2 + \frac{dS_1}{2} \right] d\alpha \sigma_1 dz + \left[ \sigma_2 + \frac{\partial \sigma_2}{\partial S_2} dS_2 \right] dS_1 \frac{d\alpha}{2} dz + \sigma_2 \times dS_1 \frac{d\alpha}{2} dz + \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} dS_1 dS_2 dz = 0.$$

En divisant tous les termes de l'égalité par  $dS_1 dz d\alpha$  nous obtenons :

$$(1) \quad \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{p_2} - \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z}.$$

La valeur de la variation de  $\sigma_2$  le long de  $S_2$ , s'obtient par simple permutation de  $S_1$  et  $S_2$ , soit :

$$(2) \quad \frac{\partial \sigma_2}{\partial S_2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{p_1} - \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_2}}{\partial z}$$

Nous voyons que les expressions (1) et (2) sont comparables aux relations de LAMÉ et MAXWELL, valables pour un problème d'élasticité à trois dimensions, mais elles diffèrent de celles-ci par leur troisième terme, qui est fourni cette fois par la variation de la contrainte tangentielle  $\tilde{\epsilon}$ , le long de l'axe  $oz$ .

### Discussion.

#### I. — DÉTERMINATION DES MAXIMA OU MINIMA ANALYTIQUES D'UNE CONTRAINTE NORMALE PRINCIPALE, LE LONG DE SON ISOSTATIQUE.

Étudions, par exemple, le cas de  $\sigma_1$ . Cette contrainte passera par un maximum ou un minimum analytique quand :

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1} = 0$$

soit :

$$\frac{1}{p_2} (\sigma_1 - \sigma_2) - \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} = 0.$$

Cas particuliers : 1° Si le long d'une isostatique, nous avons :

$$\frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} = 0.$$

L'étude de la variation de  $\sigma_1$  se fait comme en élasticité plane. La seule condition nécessaire pour que  $\sigma_1$  passe par un maximum ou un minimum analytique est :

$p_2 = \infty$  sur cette isostatique.

2° Si  $\frac{1}{p_2} = 0$ , le critère devient :

$$\frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} = 0.$$

#### II. — DÉTERMINATION DU SENS DES VARIATIONS DES CONTRAINTES PRINCIPALES.

Rappelons les définitions des contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ .

$\sigma_1$  : contrainte principale normale, maximum en valeur algébrique, les tractions étant supposées positives;

$\sigma_2$  : contrainte principale normale, minimum en valeur algébrique;

$p_1$  et  $p_2$  : sont pris en valeur absolue.

Dans ce cas, nous avons toujours :  $\sigma_1 - \sigma_2 > 0$ .

a) Étude des variations de  $\sigma_1$  dans le sens positif de  $S_1$ .

$$\frac{1}{p_2} (\sigma_1 - \sigma_2) - \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} > 0 \text{ correspondant à un accroissement de } \sigma_1;$$

$$\frac{1}{p_2} (\sigma_1 - \sigma_2) - \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} < 0 \text{ correspondant à une diminution de } \sigma_1.$$

Les cas suivants peuvent se présenter :

$$a \quad \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} = 0.$$

Ce cas est identique à celui de l'élasticité plane et  $\sigma_1$  croît toujours quand nous suivons le sens positif de  $S_1$ .

$$b \quad \frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} \neq 0.$$

si  $\frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} < 0$ ,  $\sigma_1$  subit encore un accroissement ;

si  $\frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z} > 0$ , la variation de  $\sigma_1$  est fonction des valeurs relatives de  $\frac{1}{p_2} (\sigma_1 - \sigma_2)$  d'une part, et de  $\frac{\partial \tilde{\epsilon} z_{s_1}}{\partial z}$ , d'autre part.

(1) La convention de signe adoptée pour la contrainte tangentielle est la suivante : si la normale extérieure est dirigée suivant le sens positif de l'axe  $oz$ , la contrainte tangentielle est dirigée suivant le sens positif de  $S_1$ .

b) Étude des variations de  $\sigma_2$  dans le sens positif de  $S_2$ .

$$\frac{1}{\rho_1} (\sigma_2 - \sigma_1) - \frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} > 0 \text{ correspondant à un accroissement de } \sigma_2;$$

$$\frac{1}{\rho_1} (\sigma_2 - \sigma_1) - \frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} < 0 \text{ correspondant à une diminution de } \sigma_2.$$

Les cas suivants peuvent se présenter :

$$a \quad \frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} = 0.$$

Ce cas est identique à celui de l'élasticité plane et  $\sigma_2$  décroît toujours quand nous suivons le sens positif de  $S_2$ .

$$b \quad \frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} \neq 0$$

si  $\frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} > 0$   $\sigma_2$  subit encore une diminution;

si  $\frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} < 0$  la variation de  $\sigma_2$  est fonction des valeurs relatives de  $\frac{1}{\rho_1} (\sigma_2 - \sigma_1)$  d'une part, et de  $\frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z}$  d'autre part.

### III. — POINTS SINGULIERS.

L'apparition d'un point singulier sur le vernis correspond, en ce point, à un rayon de courbure  $\rho_1$  ou  $\rho_2$  nul. Dans ce cas, il faut obligatoirement que  $\sigma_1 = \sigma_2$ , sinon la variation de  $\sigma_1$  ou  $\sigma_2$  devient

## ANNEXE II

6

*Étude de la variation du moment fléchissant à la périphérie d'un poteau encastré à la dalle en fonction du diamètre de ce poteau.*

*Influence de la rigidité du poteau dans le cas d'un chargement dissymétrique.*

### 1<sup>o</sup> Dispositif d'essai.

Nous avons utilisé quatre plaques carrées, de côté égal à 322 mm et d'épaisseur 7 mm. Chacune d'elles avait un poteau soudé en son milieu. Le diamètre de chacun des quatre poteaux a été choisi égal à 20 mm, 16 mm, 12 mm, 10 mm. Comme l'indique la figure 25, la plaque repose sur deux appuis continus le long de deux bords opposés, les deux autres bords étant libres. Nous avons choisi cette disposition car elle entraîne le minimum de complication de réalisation étant donné que le champ de contraintes sur la plaque aux environs du poteau est pratiquement indépendant de la nature des appuis de bordure.

Nous avons étudié deux cas de chargement :

Un chargement uniformément réparti sur toute la surface d'une plaque; ce chargement nous a permis d'évaluer l'influence du diamètre du poteau encastré à la dalle sur la valeur du moment fléchissant à la périphérie du poteau.

Un chargement partiel dissymétrique sur le quart de la surface du panneau, représenté en hachuré sur la figure 25. Pour chaque diamètre de poteau nous avons étudié deux cas :

Poteau encastré à sa base;  
Poteau articulé à sa base.

L'étude de ces deux cas nous a permis d'évaluer le rôle de la rigidité du poteau sur la valeur du moment fléchissant maximum.

Nous avons également déterminé, afin de réaliser une étude complète du problème, la valeur du moment fléchissant au droit de l'axe du poteau, pour les deux cas de charge totale et partielle, la dalle étant simplement appuyée sur la tête du poteau; le diamètre de cette tête était de 3 mm, donc presque pratiquement ponctuel.

La position des extensomètres à fil résistant que nous avons disposés, au nombre de onze, le long d'une droite perpendiculaire aux appuis et passant par l'axe du poteau est indiquée sur la figure 25. Comme nous n'avons pu matérinellement coller un strain-gage rigoureusement sur la périphérie du poteau, la valeur des

droites infinies, ce qui est impossible car elle signifierait une discontinuité dans le champ de contraintes.

En ce point, l'ellipse des contraintes se transforme en cercle et il n'existe plus à proprement parler de contraintes principales. Les contraintes dans toutes les directions deviennent principales.

### Application particulière au cas des plaques.

Si nous considérons l'application particulière de ces relations au cas de plaques chargées perpendiculairement à leur plan, par exemple le cas du plancher-dalle, il est plus commode d'exprimer la variation de la contrainte tangentielle  $\mathcal{T}$  en fonction de l'effort tranchant qui est une valeur plus tangible physiquement et dont la connaissance peut être acquise dans certains cas.

Nous avons les relations suivantes :

$$\frac{\partial \mathcal{T} z_{s1}}{\partial z} = Tz_{s1} \frac{6}{4h^2} \quad \text{et} \quad \frac{\partial \mathcal{T} z_{s2}}{\partial z} = Tz_{s2} \frac{6}{4h^2}$$

$Tz_{s1}$  est l'effort tranchant. La convention de signe étant celle admise pour  $\mathcal{T}$ .

$2h$  est l'épaisseur de la plaque.

Les relations précédemment établies s'établissent ainsi :

$$\frac{\partial \sigma_1}{\partial z_{s1}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\rho_2} - Tz_{s1} \times \frac{6}{4h^2}$$

$$\frac{\partial \sigma_2}{\partial z_{s2}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\rho_1} - Tz_{s2} \times \frac{6}{4h^2}.$$

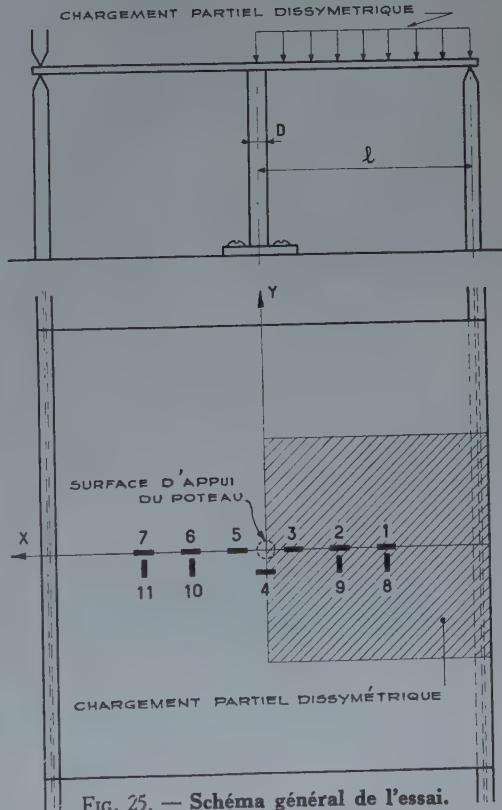


FIG. 25. — Schéma général de l'essai.

déformations relatives en ce point a été obtenue par extrapolation à partir de la courbe de variation des déformations relatives au droit des autres points de mesure.

La réalisation des pressions a été obtenue par air comprimé de la même manière que pour l'étude des deux maquettes de plancher, c'est-à-dire à l'aide de boîtes de chargement identiques à celles représentées au début de l'exposé.

### Chargement uniformément réparti sur toute la surface de la plaque.

Nous avons également procédé par palier de chargement et de déchargement afin d'avoir un diagramme pour chaque straining qui élimine une partie des erreurs de mesure.

Les résultats de ces essais font l'objet de diagrammes tels que celui représenté sur la figure 26 et correspondant au diamètre de 16 mm. La courbe de variation du moment fléchissant à la périphérie du poteau en fonction du diamètre de celui-ci est représentée figure 27, à partir du tableau ci-contre :

DIAMÈTRE du poteau D mm	D/l	$\frac{M}{ql^2}$
10	0,062	0,299
12	0,074	0,290
16	0,099	0,278
20	0,124	0,258

Nous constatons sur cette courbe que le moment fléchissant à la périphérie du poteau voit sa valeur diminuer de 20 % quand le rapport  $D/l$  du diamètre du poteau à la distance entre le poteau et le bord passe de 0,03 à 0,12. Cette valeur est valable pour une épaisseur de dalle telle que  $h/l = 0,042$ . Il se peut qu'elle soit modifiée pour une autre valeur de ce dernier rapport.

Ainsi, bien que non négligeable, l'influence du diamètre du poteau encastré sur la valeur du moment fléchissant à la périphérie du poteau est moins importante que celle du poteau libre

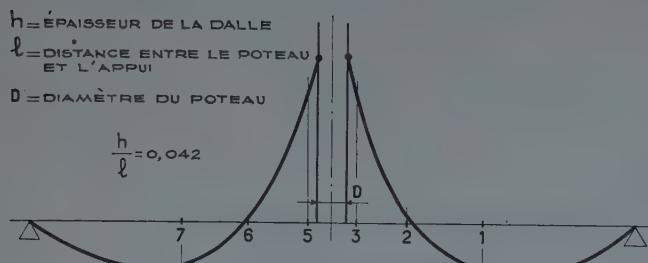


FIG. 26. — Diagramme des déformations relatives sous le chargement uniformément réparti total  $D = 16$ .

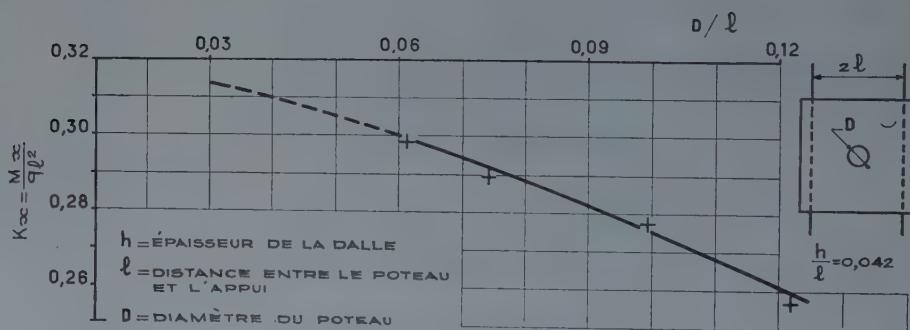


FIG. 27. — Variation du moment fléchissant à la périphérie du poteau en fonction du diamètre du poteau.

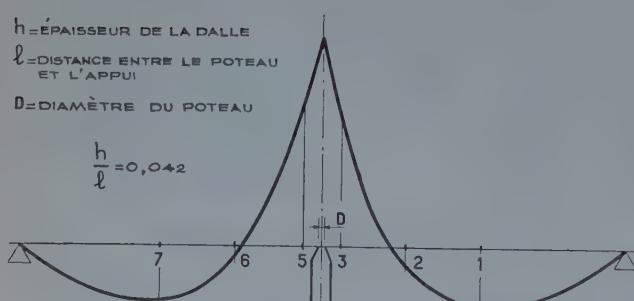


FIG. 28. — Diagramme des déformations relatives sous le chargement uniformément réparti total. Appui libre (diamètre d'appui  $D = 3$  mm).

sur la valeur du moment fléchissant au droit de l'axe du poteau (50 % de diminution quand  $D/l$  passe de 0,03 à 0,12). Nous insistons en conclusion sur le fait que la valeur déterminante du moment est celle qui naît à la périphérie du poteau puisque les poteaux successifs d'un étage au suivant formant une colonne continue, la valeur du moment au droit de l'axe du poteau n'a pas de sens pratique.

Pour compléter ces essais sous charge répartie totale nous avons mesuré le moment au droit de l'axe du poteau, la dalle reposant librement sur la tête de ce dernier. La figure 28 donne le diagramme des déformations relatives, dont la valeur maximum au point M correspond à un coefficient  $Kx = \frac{Mx}{ql^2} = 0,354$ . Cette valeur est absolument comparable à celle obtenue au cours des essais sur la deuxième maquette de plancher (paragr. 3,31) et dont les résultats sont consignés dans les diagrammes de la figure 19.

Ce résultat tend à démontrer, comme nous l'avons déjà dit, que la nature des appuis de bordure n'a pas d'influence sur la valeur du moment sur le poteau.

### 3<sup>e</sup> Chargement uniformément réparti sur le quart de la surface de la dalle et dissymétriquement par rapport au poteau.

La figure 29 donne un exemple de diagramme, correspondant au diamètre de poteau 16 mm, avec la base du poteau articulée. La partie du diagramme présentant des déformations positives correspond à la partie chargée de la dalle. Nous pouvons constater

que la valeur du moment est à peu près identique sur chacun des points A et B de la périphérie du poteau mais que, néanmoins, le moment en B correspondant au côté chargé, est légèrement inférieur au moment en A. Cette remarque est également vérifiée pour les autres valeurs du diamètre du poteau. Ainsi, le tableau suivant donne les valeurs des déformations relatives en A et B pour chaque diamètre.

Diamètre D mm	$\epsilon_x + v \times \epsilon_y \cdot 10^{-6}$ pour $q = 1 \text{ kg/cm}^2$	
	en A	en B
10	85	82
12	83	74
16	82	68
20	80	68

L'influence du diamètre du poteau semble assez faible bien que les déformations relatives aient tendance à augmenter quand le diamètre diminue.

Examinons pour finir le cas où la base du poteau est encastrée. La figure 30 représente le diagramme des déformations relatives le long de la section transversale de la plaque dont le poteau a un diamètre de 16 mm. Le diagramme présente le même caractère que celui relatif au poteau articulé, mais les déformations en A

FIG. 29. — Diagramme des déformations relatives sous le chargement uniformément réparti partiel et dissymétrique. Poteau articulé  $D = 16$ .

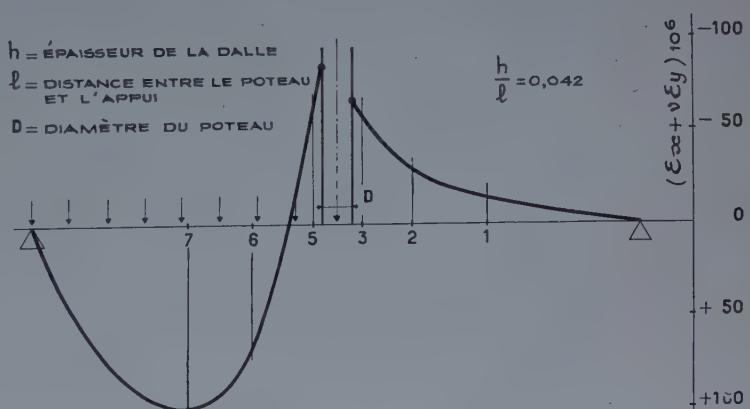
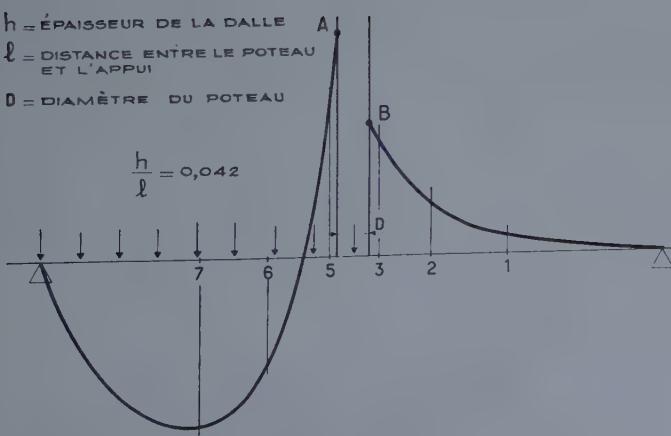


FIG. 30. — Diagramme des déformations relatives sous le chargement uniformément réparti partiel et dissymétrique. Poteau encastré  $D = 16$ .

sont nettement plus importantes qu'en B, il en est de même pour les autres diamètres de poteau, comme en témoigne le tableau suivant.

$\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y$ pour $q = 1 \text{ kg/cm}^2$ . BASE DU POTEAU ENCASTRÉE		
Diamètre D mm	en A	en B
10	— 120	— 74
12	— 116	— 70
16	— 120	— 72
20	— 118	— 60

Nous constatons que les déformations relatives, donc les moments, sont pratiquement indépendants du diamètre. Nous pensons expliquer ceci par la remarque suivante : comme nous l'avons vu, le moment fléchissant au droit du poteau décroît quand le diamètre de ce dernier croît; cette propriété est encore vraie dans le cas qui nous occupe, mais étant donné la dissymétrie du chargement, le poteau est également soumis à un moment de flexion, d'autant plus grand que son encastrement à la base est important et que sa rigidité est grande. Ce moment de flexion

augmente le moment dans la dalle au droit de sa jonction avec le poteau, du côté de la région chargée, c'est-à-dire au point A, et il diminue le moment dans la dalle du côté de la région non chargée, c'est-à-dire en B.

Ainsi, il se trouve que les deux influences contraires : diamètre du poteau à sa jonction avec la dalle et rigidité du poteau à la flexion, sont telles que les moments fléchissants en A sont à peu près indépendants du diamètre, dans les conditions particulières aux essais.

Enfin, la comparaison des deux derniers tableaux nous permet d'évaluer l'augmentation du moment fléchissant à la périphérie du poteau due à l'encastrement du poteau, dans le cas d'une charge dissymétrique. En moyenne, cette augmentation atteint 45 % de la valeur du moment avec poteau articulé. Bien entendu, cette valeur est valable uniquement pour les proportions de la dalle adoptée et le genre de chargement, mais il n'en reste pas moins sûr que dans tous les cas l'augmentation envisagée doit être sensible.

Comme pour le cas de la charge répartie complète, nous avons mesuré la valeur des déformations relatives au droit de l'axe du poteau sur la tête duquel la dalle repose librement. La figure 31 donne le diagramme des déformations relatives pour une pression  $q = 1 \text{ kg/cm}^2$ . La valeur maximum atteint en M 98.10<sup>-6</sup>. Cette valeur se situe entre les valeurs relevées en A, d'une part avec les poteaux encastrés en tête et en pied et, d'autre part, encastrés en tête et articulés en pied (voir les deux derniers tableaux).

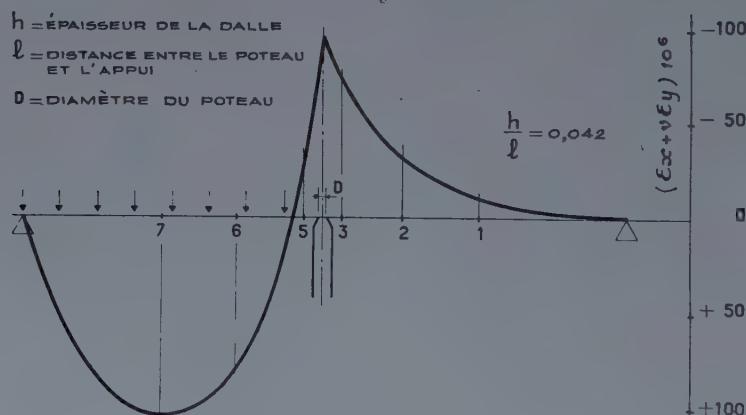


FIG. 31. — Diagramme des déformations relatives sous le chargement uniformément réparti partiel et dissymétrique. Appui libre (diamètre d'appui D = 3 mm).

(Reproduction interdite.)

SUPPLÉMENT AUX  
**ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS**

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N°s 67-68.

Série : **TRAVAUX PUBLICS (XXIII).**



Pont de Drancy-Le Bourget

**CONSTRUCTION D'UN BOW STRING  
ASSOCIANTE LE BÉTON PRÉCONTRAINTE  
ET LE BÉTON ARMÉ**

Par **M. J. BARETS,**

Ingénieur diplômé par l'État et par l'E. O. S. T.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS  
ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE LA PRÉCONTRAINTE

## EXPOSÉ DE M. BARETS

### Description des lieux.

Le chemin départemental n° 30 de Stains à Bonneuil est à la route ce qu'est la grande ceinture au rail. Il est établi concentriquement au chemin de fer de la grande ceinture. C'est dire l'importance de cette voie qui, traversant toutes les routes nationales, permet de les relier entre elles, comme la grande ceinture relie toutes les régions ferrées.

Ce chemin franchit la ligne de chemin de fer Paris-Soissons à 9,500 km de la gare du Nord reliant, en ce point, deux communes importantes de la banlieue parisienne : Drancy sur la rive droite et le Bourget sur la rive gauche.

Le pont ancien était constitué par un tablier en béton à poutrelles enrobées. Il avait une portée de 35 m et reposait entre chacune de ses culées sur des colonnes en fonte. Cette portée relativement réduite ne permettait que le passage de six voies normales déterminant un étranglement assez important d'où freinage de trafic préjudiciable à l'exploitation.

En 1912, une transformation importante était intervenue : elle consistait à modifier la culée rive droite et à lui faire jouer le rôle de pile ; une nouvelle culée édifiée à 9 m au-delà

laissait la disposition d'une travée supplémentaire, donc l'ouverture d'une voie de plus (fig. 1).

Cet aménagement s'avéra encore insuffisant pour le trafic considérable de la gare de triage et la S. N. C. F. envisagea de nouveaux travaux. Le projet en était à l'étude en 1939, l'entrepreneur était déjà désigné lorsque la guerre vint interrompre toute réalisation.

Le 2 février 1949, une catastrophe ferroviaire provoqua la destruction de l'ouvrage : une locomotive tirant l'express d'Hirson sortait des voies et venait brutalement heurter l'une des piles. Déséquilibré, le pont s'écroulait.

Les victimes, fort heureusement, ne furent pas nombreuses. Une semaine plus tard, une passerelle système Bailey permettait à nouveau le franchissement des voies.

La S. N. C. F. entreprit alors l'étude d'un nouveau pont capable d'assurer l'écoulement du trafic et sans pile intermédiaire pour éviter le renouvellement de l'accident.

L'adjudication fut prononcée en faveur des Établissements Sainrapt et Brice sur projet de bow string en béton armé conforme aux prescriptions de portée de la S. N. C. F.



FIG. 1 a. — **État primitif.**



FIG. 1 b. — **Modifications (1912).**

### RÉSUMÉ

La description d'un bow string de 74 m de portée et de 21,70 m de largeur comportant des tirants et suspentes en béton précontraint montre l'intérêt de la précontrainte pour la suppression des contraintes de traction dans ces pièces. Les câbles de grande longueur suppriment tous les problèmes de recroisement ou de soudure.

Les moments parasites de la précontrainte diminuent le moment dû au terme correctif de Bresse. L'arc devient plus économique.

L'auteur étudie en détail les problèmes posés par le chantier.

### SUMMARY

The description of a bow string bridge of 74 meter span and 21,70 meter width, including prestressed concrete ties and hangers, shows the usefulness of prestressing for eliminating tensile stresses in these members. The very long cables eliminate all the problems of stiffening or welding.

The parasitic prestressing moments diminish the moment due to the Bresse correction factor. The arch becomes more economical.

The author investigates the field problems in detail.

## Étude préliminaire.

L'étude d'exécution conduisait cependant à de grandes difficultés techniques eu égard à l'importance de l'ouvrage. Le gabarit imposé, très strict, ne permettait qu'un tirant de 1 m<sup>2</sup> de section environ et le calcul conduisait à loger cent barres de 40 mm dans cet espace (fig. 2). Il devenait impossible de réaliser des croisements de barres dans le tirant. Or des barres de 80 m d'une seule pièce présentaient un problème industriel sérieux. La soudure sur grosses barres offrait une solution, mais les services techniques de la S. N. C. F. et le Bureau d'Études de l'Entreprise y renoncèrent devant certaines difficultés de travail sur place.

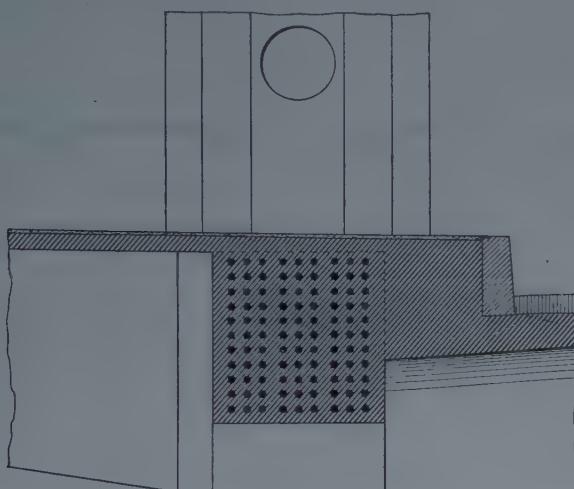


FIG. 2. — Solution primitive en béton armé.  
Coupe schématique du tirant.

Ultime ressource du béton armé, les barres de faible diamètre livrées en couronnes furent envisagées, mais les délais de livraison des aciéries furent tels que cette solution dut, à son tour, être abandonnée.

Parvenu à cette impasse, le Bureau d'Études établit un projet avec utilisation de câbles de précontrainte dans les tirants et les suspentes. Pour comparer rigoureusement les deux techniques, l'étude d'exécution fut poussée sur les solutions béton armé et béton précontraint et c'est sur deux projets entièrement terminés que porta le choix de la division des ouvrages d'art.

La solution utilisant la précontrainte fut alors définitivement retenue. Compte tenu des conditions de gabarit et d'aspect architectural, il fut imposé au projet en béton précontraint le respect rigoureux des formes du projet en béton armé. Cette condition conduisit à certaines difficultés pour les suspentes et ne permit pas l'amincissement de l'arc dont le creux interne fut simplement accentué.

## Caractéristiques de l'ouvrage (fig. 3 et 4).

Fondations : semelles en gros béton, taux de travail du sol 4 kg/cm<sup>2</sup>.

Culées : en gros béton, parements en pierre de Bethisy.

Portées :

Entre nu des culées..... 67,75 m  
— axe des appareils d'appuis.. 74,00 m

Largeur du tablier : 21,70 m entre garde-corps se décomposant en :

Chaussée.....	12,00 m
Trottoirs .....	2 x 3,85 m (en porte à faux)
Suspentes .....	2 x 1,00 m

Tirants : en béton précontraint armé de quarante câbles de 10 et 12 fils de 7 mm.

Suspentes : en béton précontraint armées de six câbles de 12 Ø 7.

Tablier : en béton armé.

Arc : en béton armé, creux, parabolique largeur 1,40 m, hauteur variable de 2,00 m aux appuis à 2,40 m à la clef, flèche 13 m.

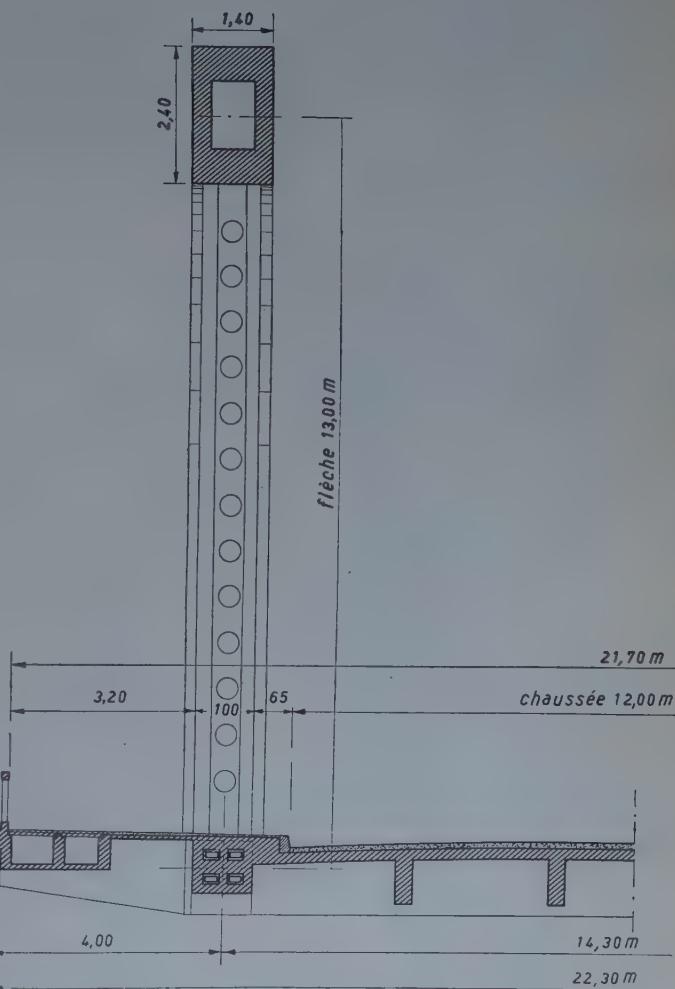
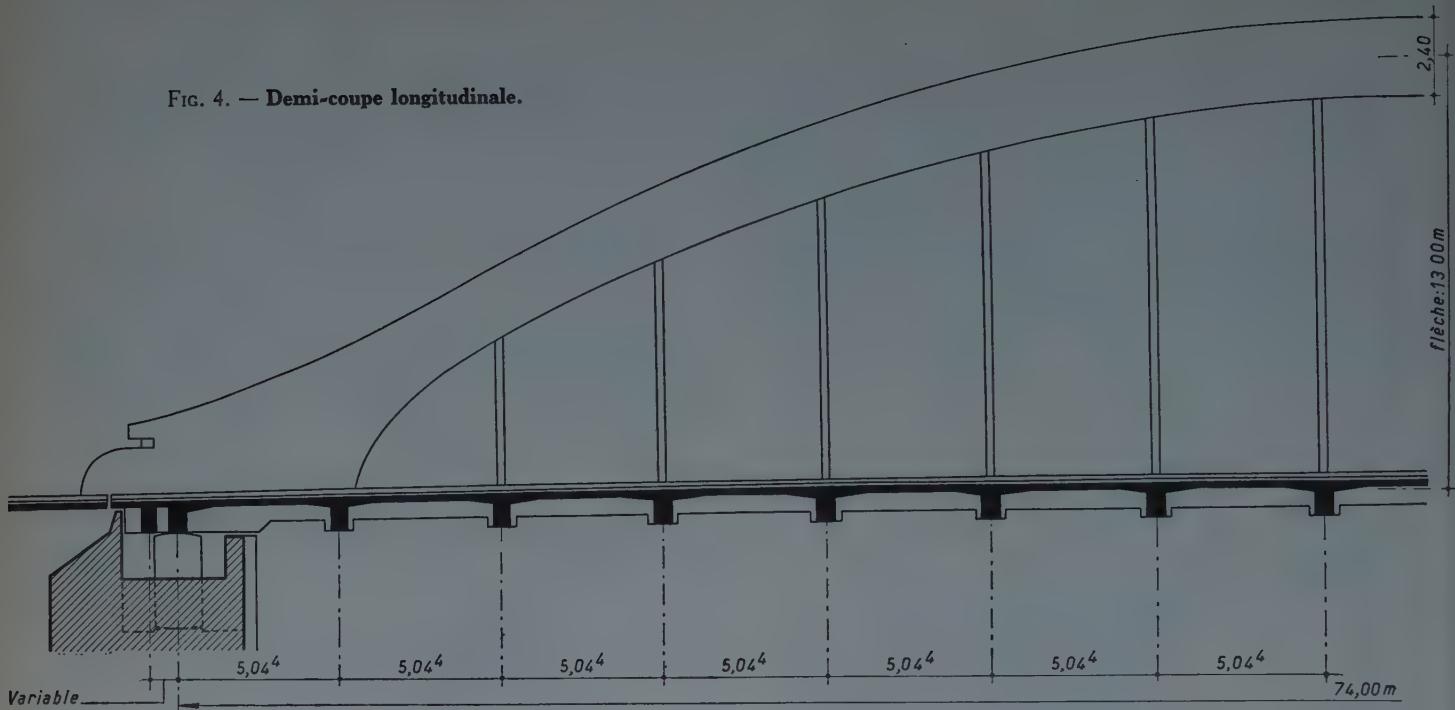


FIG. 3. — Demi-coupe transversale dans l'axe.

FIG. 4. — Demi-coupe longitudinale.



### Calculs de l'ouvrage.

#### Bases des calculs.

Convoi type de huit camions de 25 t.

Contraintes admissibles :

- Compression 80 kg/cm<sup>2</sup> tablier;
- Compression 125 kg/cm<sup>2</sup> arc et éléments précontraints.

Traction des aciers doux :

1 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Traction des aciers durs :

A la mise en tension.....	10 000 kg/cm <sup>2</sup>
Après relaxation.....	8 500 —

#### Principes des calculs.

Les calculs furent conduits dans l'hypothèse d'un arc à deux articulations d'inertie variable selon les deux lois ci-après :

— Loi de variation de la flèche : parabolique ;

— Loi de variation de l'inertie de l'arc :

$$J'' = \frac{J''c}{1 + \varphi \frac{x^2}{a^2}}$$

avec  $\left\{ \begin{array}{l} J'' = \text{inertie réduite;} \\ J''c = \text{inertie à la clef;} \\ \varphi = I; \\ a = \text{demi-portée;} \\ x = \text{abscisse.} \end{array} \right.$

La précontrainte entraîne cependant une correction curieuse des calculs habituels. On sait que dans un tel ouvrage on doit tenir compte du terme de Bresse, c'est-à-dire des déformations dues aux efforts normaux. Ce terme donne généralement un

moment positif supplémentaire non négligeable pour ces grandes portées. C'est ainsi que pour la section la plus défavorisée, ce moment atteint 30 % du moment produit par les surcharges. Mais le raccourcissement du tirant, sous l'action de la précontrainte, entraîne un rapprochement des appuis produisant dans l'arc un moment négatif. En outre, on doit tenir compte de la décompression du béton du tirant au passage des surcharges. Cependant le tirant participant au moment de flexion général reçoit une précontrainte absorbant la poussée ainsi que les contraintes de traction dues au moment. Il en résulte que, à la limite, lorsque la contrainte s'annule sur la fibre inférieure, la fibre moyenne conserve une certaine compression, le terme correctif diminue donc au passage des surcharges mais ne s'annule pas. Il sera donc minimum au passage des surcharges, alors que le terme de Bresse sera lui maximum.

Dans la section la plus défavorisée, les calculs mettaient en évidence les efforts suivants :

Poussée sous poids mort .....	1 041 t
— surcharges + poids mort	1 219 t
Précontrainte du tirant .....	1 723 t
Effort normal dans l'arc .....	1 164 t
Moment total dû aux surcharges .....	721 tm
— dû au terme de Bresse ..	229 tm
— correctif de précontrainte :	
Sous poids mort .....	113 tm
Sous poids mort + surcharge.....	83 tm
Rapport des moments entre l'arc et le tirant .....	0,945
Contraintes dans l'arc :	
Fibre supérieure .....	+ 123 kg/cm <sup>2</sup>
— inférieure .....	- 17 —
Contraintes dans le tirant :	
Fibre supérieure .....	+ 95 —
— inférieure .....	+ 29 —

## Description des dispositions prévues pour la précontrainte.

### Tirants.

Il eût été conforme aux usages de placer les quarante-huit câbles sous gaine et de les enrober au bétonnage selon la technique habituelle de la précontrainte Freyssinet.

Néanmoins la longueur de 80 m entre cônes aurait conduit à des frottements importants et la dépense de quarante-huit gaines n'était pas négligeable. Les câbles furent enfermés sur toute la longueur du tirant dans quatre petits caissons en béton contenant chacun douze câbles. Au raccordement d'extrémité les quarante-huit câbles s'épanouissaient sous gaine habituelle jusqu'à la plaque d'ancre noyée à l'extrémité des arcs. Cette méthode permettait en outre, pour la confection des câbles, un simple groupement de fils sans ressort central (fig. 5 et 6).

### Suspentes.

Les suspentes comportent six câbles sous gaines. Là aussi un problème spécial dut être envisagé. Les suspentes ne présentant qu'une épaisseur de 25 cm sur 13,00 cm, le flambrage sous la mise en tension était à craindre. On sait qu'une pièce précontrainte ne flambe pas sous sa précontrainte, quelles que soient ses proportions, mais à une condition : c'est que les câbles puissent exercer une force de rappel sur le béton et pour cela qu'il n'y ait pas de jeu. Les gaines usuelles laissant un jeu assez considérable entre câbles et

guipage, il fut utilisé un guipage ou feuillard enroulé hélicoïdalement et jointivement, par une machine.

Les extrémités inférieure et supérieure des câbles étaient bloquées dans des cônes, mais l'impossibilité absolue de venir sous l'ouvrage effectuer les mises en tension, par suite de la fréquence des trains, nous conduisait à une mise en tension par l'extrémité supérieure seulement.

Étant donné cette impossibilité d'accéder sous l'ouvrage, le blocage du cône inférieur devait se produire automatiquement. Après de nombreux essais de laboratoire, les fils furent retournés à l'extérieur du cône de telle façon que, appuyant sur le cône mâle lors des premiers efforts, ils entraînent celui-ci jusqu'à une position telle que le frottement puisse se produire. L'effort de traction exercé sur les fils entraîne et bloque alors le cône par simple frottement (fig. 7).

### Mises en tension.

Le cintre supportant l'ouvrage était dimensionné pour une charge partielle seulement. Il fut nécessaire de procéder à des mises en tension successives pour le soulager. En outre, lors des mises en tension, le poids mort des chaussées, revêtements, trottoirs, etc., n'étant pas en place, il en résultait que les compressions de précontrainte dans les suspentes étaient insuffisamment compensées par les tractions et les contraintes de compression auraient atteint un niveau inacceptable. Ceci conduisait également à plusieurs phases successives de tension. Cet ensemble de conditions imposait un programme rigoureux dont il était impossible de s'écartier (voir ce programme en annexe).

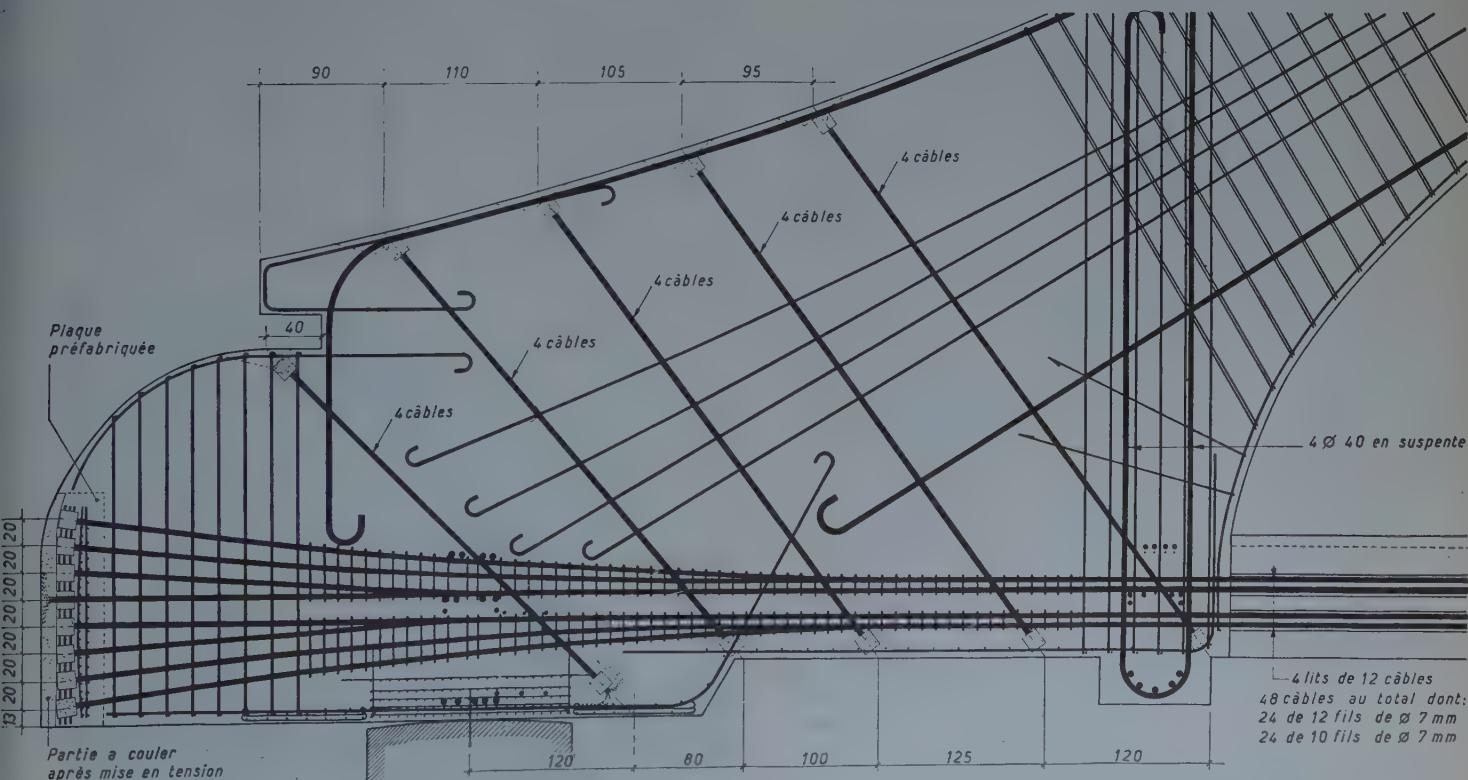


FIG. 5. — Ferraillage et câblage de l'about du tirant.

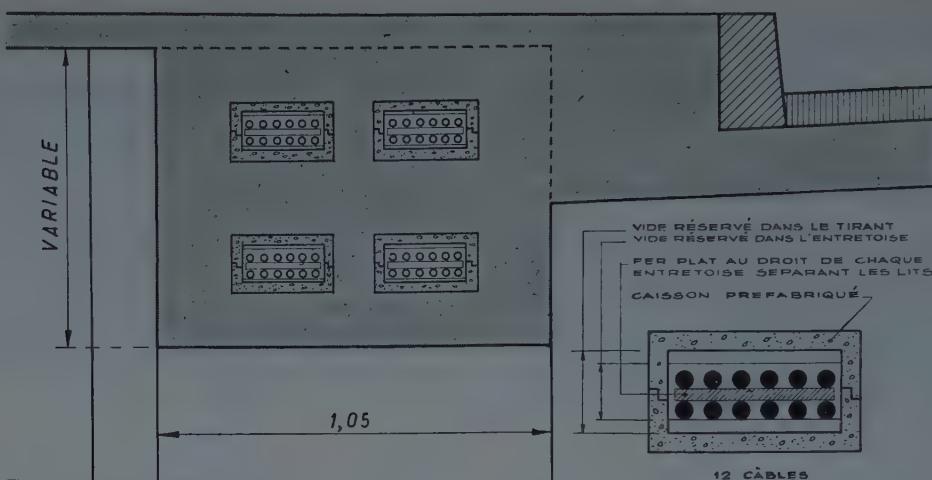


FIG. 6. — Coupe sur le tirant précontraint.

### Problèmes spéciaux mis au point à l'exécution et méthodes diverses.

#### Tirants.

La mise en place des câbles de 80 m s'effectua assez facilement malgré leur poids et leur encombrement. Les caissons contenant les câbles étant noyés dans le béton, l'enfilage dans les gaines d'extrémité s'effectua par simple poussée de quelques hommes. Chaque extrémité de câble était coiffée

d'un petit cône de métal facilitant son passage. Les guipages d'extrémités étaient alors mis en place sur les câbles et les plaques préfabriquées d'abouts également.

La suppression des ressorts n'entraînait aucune gêne sauf au droit des cônes où il eut été utile de prévoir 1 m de ressort pour éviter les croisements de fils.

#### Suspentes (fig. 8).

Les câbles des suspentes étant constitués selon les techniques habituelles, les fils avaient reçu un produit bitumineux destiné à faciliter le glissement.

Si cette technique n'a jamais donné de mécomptes dans les câbles horizontaux ou symétriquement relevés, nous devions apprendre par expérience qu'il n'en est pas de même pour les câbles verticaux. Sous le chaud soleil de printemps frappant directement sur les câbles nus, le goudron se liquéfia et descendit lentement vers le cône inférieur.

Il était à craindre à ce moment que les fils ne soient goudronnés au droit du cône au moment du blocage et que des glissements dangereux ne se produisent.

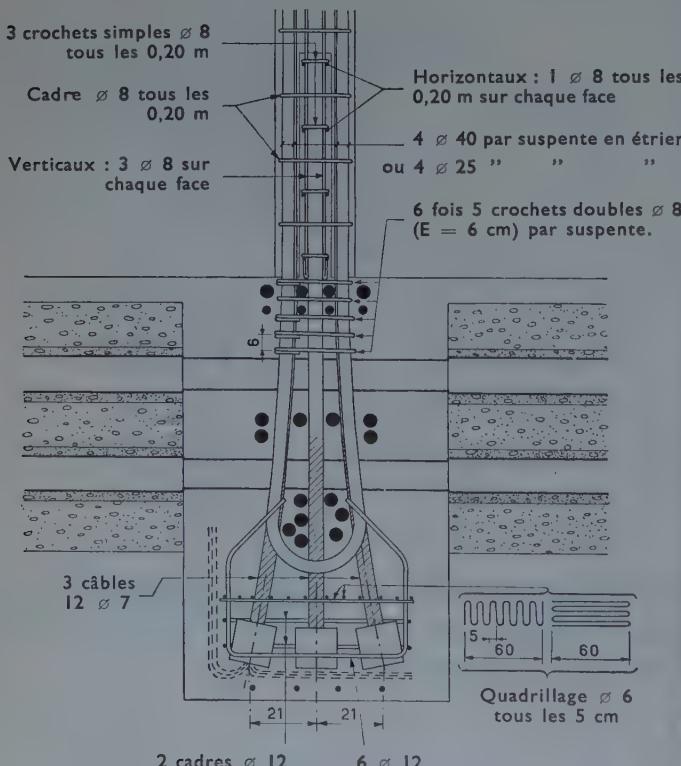


FIG. 7. — Jonction entretoise et suspente  
(sens longitudinal de l'ouvrage).



FIG. 8. — Suspentes.



Photo S. N. C. F.

FIG. 9. — Plaques d'extrémité recevant les cônes d'ancre des câbles du tirant.

Des expériences de laboratoire nous montrèrent aussitôt qu'il n'en était rien et que la pression du blocage suffisait à chasser le film bitumineux entre fil et cône. Néanmoins la présence d'un produit de glissement au droit du cône choquait tellement la raison qu'une solution meilleure fut recherchée. Elle consista très simplement à noyer les douze fils dans un bouchon de brai quelque peu au-dessus du cône. Un tube central en aluminium le traversait et permettait au goudron de s'évacuer à l'extérieur du cône. Cette méthode donna satisfaction.

#### Mises en tension des tirants.

Les diverses phases de précontrainte furent très simplement réalisées dans les tirants en tendant pour chaque opération un nombre de câbles bien déterminé.

La présence de câbles de dix fils bloqués dans des cônes douze fils nécessita quelques tâtonnements. Il apparut très vite que la solution optimum dans ce cas consistait à placer dans les deux cannelures laissées vides, deux tiges d'acier de 1 m, clavetées sur le vérin avec les autres. Les deux cannelures ainsi utilisées étaient placées à 180°. Néanmoins la sollicitation des clavettes de vérin n'étant plus axée sur les clavettes comportant un fil non tendu, les déclavetages sont assez fréquents.

L'emploi de câbles dix fils avec des cônes douze fils nous semble donc à déconseiller, sauf nécessité absolue.

#### Mises en tension des suspentes.

Le petit nombre de câbles des suspentes et la nécessité d'une symétrie parfaite des efforts dans des sections aussi petites, interdisaient la réalisation de diverses phases par câbles successivement tendus. Les six câbles furent donc tendus à trois reprises successives avec blocage de cône mâle à chaque reprise. Les cônes mâles en béton supportant très mal ces opérations de blocage et de déblocage, il fut parfois nécessaire de les changer et pour cela de retenir le cône mâle pendant que le vérin laissait détendre les fils. Cette opération fort peu facile est à éviter et deux opérations

successives de blocage et de déblocage doivent être considérées comme un maximum pour ces cônes.

#### Injections.

L'injection des suspentes ne présentait pas de différences avec les méthodes habituelles. Par contre, l'injection des tirants ne présentait qu'une lointaine parenté avec les principes usuels.

Dans ce cas, en effet, l'injection n'était pas à effectuer dans le noyau central des câbles, ceux-ci étant privés de ressort. Il fallait au contraire remplir le vide entre câbles de telle sorte que les caissons creux qui les recevaient soient complètement obturés.

Dès l'origine des cheminées avaient été prévues et reliaient les caissons à l'air libre. Certaines de ces cheminées recevaient l'injection, les autres permettaient l'évacuation de l'air. Les parties gainées du tirant furent injectées au début de l'opération. Un produit spécial mis au point par M. BRICE, « la Fluolide », empêche toute décantation ciment-eau et rend l'injection plus facile par l'onctuosité de la pâte. Les proportions du mélange furent :

50 kg de ciment;  
50 kg de sable fin;  
25 l d'eau;  
2 l de Fluolide.

#### Descente de l'ouvrage.

Les nécessités très strictes du gabarit conduisirent à couler l'ouvrage à 1,00 au-dessus de son niveau final. Pour la descente, huit vérins de 300 t furent utilisés. Leur charge devant atteindre 350 t ils furent préalablement essayés en laboratoire à 350 t.

Pour éviter l'élasticité des calages, les plaques des camoteaux furent réalisées en béton. Les vérins étaient fort lourds et il fallait cependant les retirer à chaque course de 18 cm pour enlever une plaque de calage. Deux vérins légers auxiliaires facilitèrent ces manœuvres en soulevant le vérin principal au moment voulu (fig. 10 et 11).

La descente fut réalisée par alternance de 18 cm sur chaque culée. La dénivellation maximum n'atteignait ainsi que 9 cm.

L'opération de descente a duré trois jours à cause de divers incidents produits par les cuirs des vérins. La pression aux manomètres permit de contrôler le poids de l'ouvrage qui atteignait bien 2 800 t.

#### Conclusions.

La technique des ponts isostatiques à câbles relevés présente actuellement une grande évolution et les enseignements du chantier deviennent faibles dans ce cas pour les spécialistes. Par contre un ouvrage exceptionnel comme le pont du Bourget pose une foule de problèmes et c'est pour tirer le maximum de cet enseignement que nous avons exposé plus haut, nos recherches et parfois nos déboires.

Un tel ouvrage n'a pu faire l'objet d'une heureuse réalisation que grâce à la parfaite liaison entre les services techniques de la S. N. C. F., les Ingénieurs d'Études et le chantier.

Les très nombreux problèmes techniques posés nécessitaient de fréquentes conférences avec la Division des Ouvrages d'Art; nous tenons à remercier particulièrement ici M. CARPENTIER, Ingénieur Principal et M. LAZARD, Ingénieur en Chef à la Division des Ouvrages d'Art, de leur bonne grâce constante et des facilités dues à leurs initiatives et à leur parfaite compréhension.

Les services régionaux de la S. N. C. F., sous l'influence

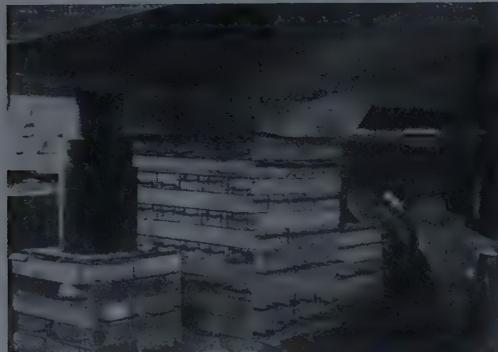


FIG. 10. — Descente de l'ouvrage. Vue des vérins principaux de 400 t et des plaques de calage.

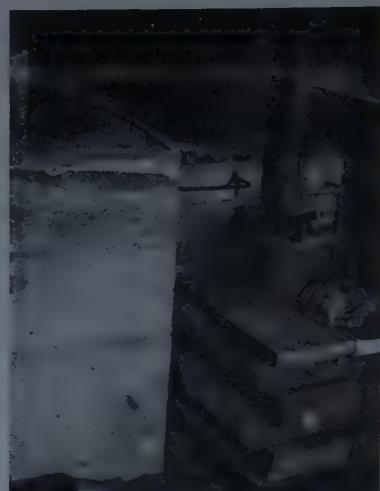


FIG. 11. — Descente de l'ouvrage. Vérins auxiliaires.

de M. LABYE, Ingénieur d'Arrondissement, assisté de M. DEFAUX, son Adjoint, et de M. MAILLET, Chef de District, facilitèrent toujours les travaux et les mises au point parfois délicates.

## ANNEXE

### *Programme des constructions et mises en tension.*

1. Construction du cintre (tablier);
2. Construction du cintre (arc);
3. Ferraillage des entretoises et longerons;
4. Mise en place des câbles suspentes;
5. Coulage des entretoises, de la dalle (chaussée seulement) et des longerons;
6. Coffrage des arcs;
7. Mise en place des câbles des tirants et des câbles des abouts d'arc;
8. Ferraillage des arcs;
9. Coulage des arcs, des tirants et des deux bandes réservées dans la dalle.

#### **Tirant.**

- 9 bis. Mise en tension définitive dans chaque tirant de quatre câbles.

#### **Suspentes.**

10. Mise en tension partielle à 4 t de deux câbles par suspente;
11. Décoffrage de la dalle :  
Enlevement des parties verticales des coffrages (tirants, entretoises et longerons);
- 11 bis. Mise en place de points de repère pour la mesure du raccourcissement ultérieur du tablier.

#### **Abouts.**

12. Mise en tension définitive des câbles d'about d'arc.

#### **Tirant.**

13. Mise en tension définitive dans chaque tirant de vingt câbles (pour l'arc côté Paris, quatre de ces câbles pourront être déjà tendus);
- 13 bis. Dégagement des cintres des arcs. Pour cette opération, des directives seront demandées en temps utile.

#### **Suspentes.**

14. Mise en tension partielle à 8 t de tous les câbles des suspentes;
- 14 bis. Coulage de la dalle supérieure du trottoir avec la poutre correspondant au changement de niveau.

#### **Tirant.**

- 14 ter. Mise en tension définitive des vingt-quatre câbles restant dans chaque tirant. Délai minimum entre la fin de 14 bis et le début de 14 ter : une semaine.
15. Coulage des dalles dans les intervalles laissés vides;
16. Coulage des suspentes;
17. Injection des tirants.

#### **Suspentes.**

18. Mise en tension définitive des suspentes;
19. Injection des suspentes;
20. Décoffrage des cintres des arcs;
21. Relevage du pont et décoffrage du cintre du tablier;
22. Descente du pont sur appuis définitifs.

(Reproduction interdite.)

SUPPLÉMENT AUX

**ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS**

JUILLET-AOUT 1953

Sixième Année, N° 67-68.

Série : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (XXXVI).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 11 MAI 1953

SOUS LA PRÉSIDENCE DE **M. MISSENARD.**

# **RECHERCHES ET TECHNIQUES ÉTRANGÈRES**

Évolution des recherches et des techniques en Suède, en Norvège, au Danemark  
et en Suisse, depuis 1940.

PAR

**M. J. RYDBERG,**

Président de l'Association Suédoise des Ingénieurs de Chauffage, Ventilation et Équipement sanitaire.

**M. A. WATZINGER,**

Professeur à l'École Polytechnique de Norvège.

**M. S. P. JACOBSEN,**

Ingénieur Civil.

**M. J. KAMM,**

Ingénieur Conseil, Directeur général des Établissements Kamm.

JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR

11 - 12 - 13 mai 1953

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES JOURNÉES DE 1953

Par M. A. MISSENARD.

J'ai l'honneur d'ouvrir, pour l'année 1953, les *Journées Internationales de Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'air*.

Je souhaite la bienvenue aux diverses délégations étrangères qui ont bien voulu répondre à notre invitation et je salue particulièrement nos confrères suédois, norvégiens, danois et suisses, qui ont accepté de nous faire des communications.

Je déplore, une fois de plus, l'absence de représentants de l'est de l'Europe, car la science ne connaît pas de frontières. Je leur renouvelle une fois encore ma très cordiale invitation pour l'avenir, leur demandant de prendre contact avec moi, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*.

Lors du banquet de clôture l'année dernière, j'avais posé ouvertement la question de l'opportunité de renouveler ces Journées au cours de 1953. Il se trouve que les sujets qu'il nous a été demandé de traiter, couvrent non seulement les trois journées prévues, mais qu'une partie d'entre eux devra être reportée à une année ultérieure. Je signale en particulier qu'il est dans nos intentions de traiter plus tard le problème du chauffage urbain et la question de l'intermittence en matière de chauffage et de réfrigération. Il semble en effet nécessaire de faire le point sur cette dernière question. Diverses méthodes de calcul ont été proposées récemment; les unes très savantes et relativement complexes, sont encore restées dans le domaine scientifique, alors que d'autres, statistiquement déduites des résultats atteints par les premières, semblent devoir être d'une application facile par les bureaux d'études.

Il faudrait donc que nous en discutions et que nos industries prennent position à l'égard de l'opportunité de l'intermittence et des méthodes de calcul qu'il y a lieu d'appliquer pour déterminer la surpuissance nécessaire.



Conformément à la tradition, une bonne partie de notre première journée sera consacrée à l'exposé des recherches et de l'état de la technique dans différents pays d'Europe. Cette première journée se terminera par une conférence sur l'enseignement de la technique de l'équipement en France et par une autre consacrée à la documentation.

Notre industrie est en complète évolution, pour ne pas dire « révolution ». Nous éprouvons donc, de plus en plus, le besoin de nous documenter mutuellement sur nos propres travaux, surtout sur nos réalisations, afin d'éviter de répéter des expériences parfois coûteuses, sinon malheureuses.

La deuxième journée sera consacrée aux combustibles. L'éminent Ingénieur général GIBLIN fera une conférence sur le choix du combustible le plus opportun. Certes, ses conclusions sont essentiellement valables pour la France, mais la méthode employée peut être appliquée à tous les pays, sous réserve de tenir compte des prix locaux des sources d'énergie.

Deux conférences sont consacrées, l'une aux combustibles liquides, l'autre aux combustibles gazeux et je sais que les Houillères de France ont l'intention de prendre une part active aux débats. Je rappelle que deux visites d'installation sont prévues pour le mardi 12.

Au cours de la troisième journée, nous étudierons d'abord l'évolution des générateurs de chaleur, et ensuite nous ferons un rapide tour d'horizon des recherches scientifiques et techniques poursuivies actuellement en France, tant dans les organismes officiels que dans les laboratoires privés. D'ailleurs, je signale que nos journées ont maintenant en France leur homologue, puisque la Mécanique du sol semble adopter cette formule et que, récemment, il y a eu une Journée Internationale d'étude, sous l'éminente direction et présidence de M. Albert CAQUOT.

### Résumé.

#### ÉVOLUTION DES RECHERCHES ET DES TECHNIQUES DEPUIS 1940

##### En Suède.

Après un aperçu général des installations de chauffage actuellement utilisées, le conférencier donne la description plus détaillée d'une nouvelle chaudière, qui travaille avec de grandes vitesses des gaz et qui, avec un coefficient d'efficacité de 90 %, atteint une transmission spécifique élevée de 30 000 kcal/m<sup>3</sup>h. Il fait ensuite un compte rendu des développements de la ventilation depuis les systèmes qui fonctionnent par tirage naturel, jusqu'aux systèmes actuels qui utilisent le tirage par ventilateur. L'auteur discute ensuite de l'organisation de l'étude des projets et mentionne quelques exemples parmi lesquels des études importantes en cours : l'une concerne les dispositions pour mesurer l'influence des facteurs climatiques sur la déperdition de chaleur à travers une paroi en contact avec l'air extérieur. Un autre exemple a trait aux mesures faites afin de déterminer le coefficient de déperdition thermique dans les murs extérieurs des maisons habitées.

### Summary.

#### EVOLUTION OF RESEARCH AND TECHNIKS SINCE 1940

##### In Sweden.

After a general review of heating installations in present use, the lecturer gives a more detailed description of a new high-speed gas boiler which, with an efficiency factor of 90 %, gives the high specific transmission of 30 000 kcal/sq.m/h. Then he gives a report on ventilation developments starting with natural draft systems and ending with present-day devices using ventilator draft. Then, the author discusses the organization of investigating schemes and mentions certain examples taken from important investigations now in progress : an example refers to arrangements for measuring the influence of climatic factors on the heat loss through a wall in contact with outside air. Another example deals with the measurements for determining the heat loss coefficient in the outside walls of occupied dwellings.

### En Norvège.

Le conférencier définit les quantités de chaleur nécessaires au chauffage et les moyens employés avant et après la guerre pour les fournir.

La pénurie des ressources en charbon après la guerre a provoqué un accroissement des importations de coke. L'application croissante du courant électrique pour le chauffage, surtout dans les bâtiments neufs, a été rendue possible par une utilisation intensive des puissances hydrauliques disponibles.

On effectue des travaux systématiques de recherches dans tous les domaines de la technique du chauffage. Des études spéciales sont faites sur la conductibilité thermique des matériaux de construction et des isolants.

Le conférencier traite des mesures des pertes de chaleur dans les plaques soudées et les radiateurs de divers modes de construction.

Il fait un exposé des recherches statistiques sur les conditions climatiques dans les diverses parties du pays et du développement technique et industriel des installations de ventilation et de conditionnement d'air inspiré par les réalisations dans les plus grands pays.

### Au Danemark.

Les essais thermotechniques et les travaux de recherche sont effectués au Danemark par divers laboratoires dont certains sont consacrés à la formation des ingénieurs du chauffage et aux questions correspondantes, tandis que les autres sont de purs instituts de recherche. En outre, des commissions nommées par les divers ministères, par l'Académie des Sciences Techniques, par l'Institut des Ingénieurs Civils Danois et par divers organismes, traitent d'autres problèmes d'intérêt courant.

Les types d'installation pour l'obtention de l'eau chaude pour les applications industrielles et domestiques se sont développés et ont provoqué un remplacement de plus en plus important des anciennes chaudières par des types nouveaux qui permettent d'employer les plus économiques des combustibles.

En même temps le service du chauffage urbain s'est beaucoup développé et pendant ces dernières années il a été exécuté en combinaison avec la distribution de l'électricité, de sorte que l'augmentation de la pression des chaudières et de la production de l'électricité dans des turbines à contre-pression avec utilisation de la vapeur de contre-pression pour le chauffage urbain, ont permis une utilisation économique des combustibles et ce fait a une grande importance dans un pays comme le Danemark où normalement tout le combustible doit être importé.

### En Suisse.

Étant obligé d'importer les principaux combustibles, soit le charbon, soit le mazout, on les emploie avec beaucoup de précautions. Comme source de chaleur on utilise même les fleuves, les lacs à l'aide de la pompe thermodynamique.

Pour les besoins de chaleur en été (industrie et production d'eau chaude), on emploie en général l'énergie hydro-électrique,

La description des chaudières, des radiateurs, des circulateurs, des brûleurs à mazout, des chaudières électriques, donne une impression de quelques constructions suisses.

Au point de vue du chauffage par rayonnement, l'auteur parle des systèmes les plus employés.

Les publications des recherches sont très rares parce que les recherches se font surtout dans les différentes maisons et non dans les instituts techniques publics.

Pour terminer, M. KAMM donne des renseignements sur la nouvelle méthode suisse de calcul des déperditions thermiques des locaux, une méthode assez simple, qui est beaucoup inspirée par les recherches françaises.

### In Norway.

The lecturer sketches the heat requirements for heating and the ways to meet them with various fuels before and after the war.

Scarcity of available fuels after the war increased the imports of coke. Increased application of electric current to heating, mainly in new buildings, was made possible through an intensive appropriation of the available water power.

Systematic research work is being pursued in all technical fields of heating. Special studies are made on thermal conductivity of building and insulating materials.

The lecturer discusses the measures of losses in welded plates and in radiators of various types.

An account is given of statistical research on climatic conditions in various districts of the country and of technical and industrial development of ventilating and air conditioning plants, according to the achievements of larger countries.

### In Denmark.

Thermo-technical testing and research work is carried out in Denmark by various laboratories, some of which are devoted to the thermal-engineering education and related subjects, while others are straight research institutes. Furthermore, commissions appointed by the various Ministries, the Academy of Technical Sciences, the Institution of Danish Civil Engineers, and other bodies handle other problems of current interest.

Types of plants for the preparation of hot water for industrial and domestic purposes have developed and caused an increasing replacement of old boilers by boiler types which make it possible to use at any time the cheapest sorts of fuel.

At the same time the district heating service has extended very much, and during recent years this has been carried on in combination with the electricity supply, so that an increase of the boiler pressure and the production of electricity in back-pressure turbines and the use of the back-pressure steam for district heating purposes make an economic utilization of the fuel possible, and this fact is of great importance in a country like Denmark, where normally all fuel must be imported.

### In Switzerland.

Since the main fuels (both coal and fuel oil) must be imported, they are used sparingly. Even rivers and lakes are used as sources of heat by means of thermodynamic pumps.

For summer heating requirements (industry and hot water production), hydro-electric energy is generally used.

The description of boilers, radiators, circulators, fuel-oil burners and electric boilers gives an idea of some Swiss achievements.

In the field of radiant heating, the author deals with the most common systems.

The research publications are very rare, since research is mainly done by the various companies and not by public technical institutes.

In conclusion, Mr. KAMM explains the new Swiss systems of calculating thermal losses on the premises, a rather simple method much influenced by French research.

# DÉVELOPPEMENTS DE LA TECHNIQUE DU CHAUFFAGE ET DE LA VENTILATION EN SUÈDE DEPUIS 1940

Par M. J. RYDBERG.

## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

M. John RYDBERG, qui ne peut être personnellement présent, et s'en est excusé, est professeur de Chauffage et Ventilation à l'École Polytechnique Supérieure Royale de Stockholm. Il est également Président de l'Association suédoise des Ingénieurs en Chauffage, Ventilation et Installations sanitaires.

Il est bien connu dans les milieux scientifiques par les nombreuses études qu'il a publiées sur le chauffage et la ventilation, en particulier en langue anglaise dans le journal américain Heating, Piping and Air Conditioning.

C'est à ce sujet d'ailleurs, que j'ai eu l'occasion d'entrer en rapport avec M. RYDBERG, il y a quelques années.

Je passe donc la parole à M. THIN pour la lecture de la conférence de M. RYDBERG, qui expose l'évolution des recherches et des techniques en Suède, depuis 1940.

En Suède on utilise maintenant presque exclusivement le chauffage à eau chaude avec circulation par pompe pour le chauffage des logements, bureaux, locaux commerciaux, bâtiments publics, etc.

Comme éléments chauffants on emploie surtout des radiateurs plats, toujours placés au-dessous des fenêtres contre les murs des façades, en raison du climat qui est très froid. Les éléments chauffant par rayonnement avec des tubes enrobés dans du béton sont assez en faveur, mais ils ne constituent toutefois qu'une faible minorité.

Dans les maisons particulières ne logeant qu'une famille, on emploie le plus souvent des chaudières au coke ou au mazout. Les chaudières sont généralement combinées avec les appareils de production d'eau chaude. On trouve également dans cette catégorie d'habitations, des installations à circulation par pompe.

Dans les villes on trouve surtout des immeubles bas à trois ou quatre appartements, ou des immeubles plus hauts à huit ou dix appartements.

Le chauffage de ces immeubles de rapport s'effectue parfois par une chaudière dans chaque immeuble, mais le plus souvent une centrale commune sert à chauffer plusieurs immeubles.

L'énergie hydraulique à bon marché a été de bonne heure suffisamment développée pour suffire à la consommation intérieure de la Suède. Aussi n'a-t-on construit que très peu de centrales thermiques. C'est pour la même raison que, dans les grandes villes de la Suède, on n'a pas établi d'usines pour la production combinée de la force et du chauffage.

Depuis quelques années l'énergie hydraulique a été cependant très exploitée et on prend de ce fait de plus en plus d'intérêt à la production de l'électricité par des centrales thermiques et aux usines combinant force et chauffage. On a donc dans ces dernières années projeté et construit de telles centrales pour la force et le chauffage domestique dans nombre de grandes villes de Suède. La méthode le plus souvent employée et qui est caractéristique de ces dernières années est le chauffage d'un bloc de maisons de rapport par une centrale commune à l'aide de canalisations d'eau chaude; chaque centrale est prévue pour 2 000 à 10 000 personnes. Les centrales en

question sont généralement isolées et ont une puissance maximum de 5 à 20 millions de kcal/h. Les études ultérieures ont cependant démontré qu'il serait plus économique de construire de grandes centrales de 40 à 50 millions de kcal/h. La distribution de la chaleur se fait par un système de caniveaux contenant deux canalisations d'eau chaude. Un branchement particulier pour chaque immeuble est relié au réseau central et chacun de ces branchements est muni d'une pompe. Le réglage de chaque réseau indépendant d'après la température extérieure est souvent automatique.

Chaque immeuble possède aussi, généralement, un dispositif de distribution d'eau chaude. Dans les centrales, l'eau est chauffée dans des chaudières construites le plus souvent en tôle et fonctionnant en tirage naturel. L'émission calorifique, c'est-à-dire la chaleur produite par mètre carré de surface de chauffe est généralement prise égale à 12 000 kcal/m<sup>2</sup> par heure.

Une nouvelle chaudière prévue pour les grandes centrales mentionnées plus haut est apparue ces dernières années en Suède. L'intérêt de ces chaudières est qu'on peut maintenir un bon rendement tout en portant l'émission calorifique au-dessus de 30 000 kcal/m<sup>2</sup> par heure.

La chaudière dont la coupe est représentée sur la figure 1 est construite pour le chauffage au mazout ou au charbon et la puissance est de 500 000 à 10 000 000 kcal/h. Les surfaces de chauffe sont constituées par des tubes d'eau parallépipédiques entre lesquels passe la fumée. Ce qui est le plus caractéristique dans ces chaudières c'est la vitesse des gaz de combustion qui peut être accélérée jusqu'à 30 à 40 m/s, c'est-à-dire six à sept fois ce que l'on pouvait obtenir par les anciennes chaudières à tirage naturel. De la grande vitesse de la fumée résulte une grande perte de charge dans la chaudière et celle-ci doit par conséquent être munie d'un ventilateur. La figure 2 indique le rendement d'une chaudière en fonction de l'émission calorifique. Les résultats ont été déterminés par des essais avec le mazout. Le rendement semble s'établir au-dessus de 90 % jusqu'aux plus fortes émissions calorifiques, soit environ 30 000 kcal/m<sup>2</sup> par heure. Il est démontré que les frais totaux par an, c'est-à-

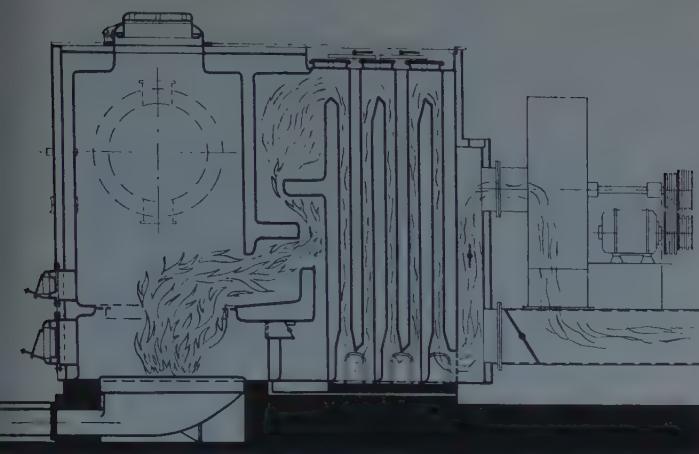


FIG. 1. — Coupe d'une chaudière.

dire les frais d'intérêts et d'amortissement de la chaudière ainsi que les dépenses de combustibles et main-d'œuvre sont sensiblement moins élevés pour une chaudière de ce genre que pour les chaudières du type antérieur à tirage naturel. L'émission calorifique très élevée est la cause de la diminution du volume des chaudières et de ce fait on réalise des économies appréciables sur le coût de la construction des bâtiments. Ces chaudières sont fabriquées par les usines Gustavsberg S. A. (Suède).

La ventilation et le conditionnement de l'air dans l'industrie, dans les bureaux et dans les locaux publics, etc., se font en Suède d'après les mêmes principes que partout ailleurs dans le monde.

La ventilation des habitations a pris un développement qu'il peut être intéressant d'indiquer. Avant 1920 les autorités prescrivaient que dans une maison de rapport l'évacuation devait s'effectuer séparément de chaque pièce par une cheminée qui dépassait le faîte de la toiture. Le principe de ce système, qui fonctionne par tirage naturel, est indiqué dans la figure 3 A. Vers 1920 on a commencé à simplifier le système et on a autorisé, parallèlement à l'ancien système, la concentration des gaines. Ce système est représenté sur la figure 3 B.

L'évacuation des cuisines et des salles de bain par des cheminées d'évacuation, tandis que l'air frais est conduit dans les autres pièces à travers des clapets de ventilation. Vers 1930 la ventilation mécanique s'est rapidement répandue, surtout dans les maisons de rapport de plus de trois ou quatre logements. Dans les installations à ventilation mécanique on a rassemblé toutes les gaines d'évacuation sur une souche unique sous la toiture et un ventilateur hélicoïde souffle l'air évacué au-dessus du faîte de la toiture. La figure 3 C présente une disposition de ce genre de ventilation avec les conduits d'évacuation de chaque pièce. La figure 3 D présente au contraire une disposition avec une certaine concentration des gaines d'évacuation, de sorte que l'évacuation se fait uniquement à partir de la cuisine et de la salle de bain, tandis que l'air frais pénètre par des clapets de ventilation dans les autres pièces. Dans les systèmes de ventilation mécanique représentés sur les figures 3 C et 3 D les conduits de ventilation de chaque pièce doivent

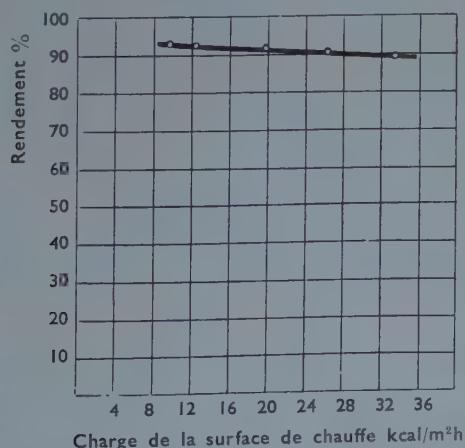


FIG. 2. — Rendement d'une chaudière en fonction de l'émission calorifique.

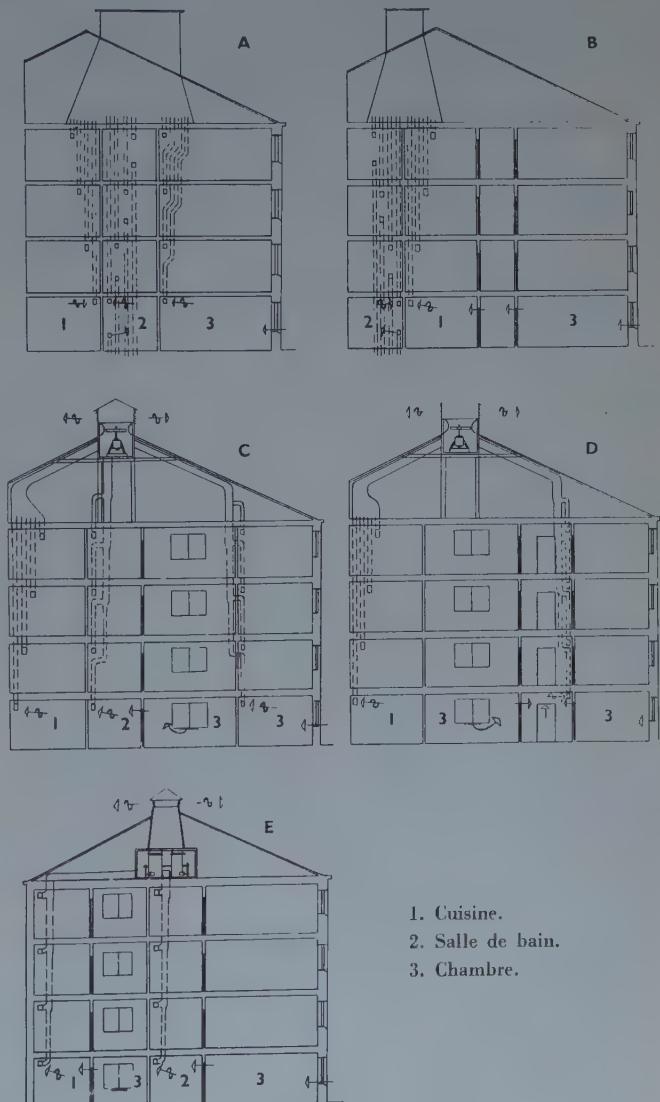


FIG. 3. — Évolution de la ventilation des habitations depuis 1920.

passer par le logement suivant afin de pouvoir être introduits dans une gaine centrale, cela pour éviter la transmission de l'air d'une pièce à l'autre. La figure 3 E montre le développement le plus récent de la ventilation mécanique dans les habitations. Dans ce système, des soupapes silencieuses à grande dépression sont placées dans les différentes pièces et par ces soupapes qui sont en porcelaine les différentes pièces peuvent être en communication directe avec les gaines principales sans risque de transmission gênante du bruit. Grâce à la grande dépression produite dans les soupapes le système a une grande stabilité et n'est pas facilement déséquilibré, par exemple par l'ouverture d'une porte ou d'une fenêtre. Les ventilateurs hélicoïdaux sont dans ce système remplacés par des ventilateurs centrifuges. Les ventilateurs centrifuges tournent en général plus vite pendant les heures où une forte ventilation est nécessaire et moins vite pendant la nuit et pendant les heures auxquelles la ventilation peut être réduite. Le débit des ventilateurs est contrôlé par des compteurs.

Ces dernières années on a assez souvent fait des essais pour récupérer la chaleur de l'air évacué par ventilation, afin de chauffer l'air frais qui entre. Ces essais pour économiser du combustible sont compréhensibles, car la Suède ne produit presque pas de charbon ni de pétrole et son climat est rude.

Le centre de toutes les études concernant la technique du chauffage et de la ventilation en Suède est le laboratoire pour la technique de chauffage et de la ventilation de l'École Technique Supérieure à Stockholm. Le laboratoire a été fondé en 1942 et les frais des études sont supportés en partie par l'État, en partie par l'industrie par l'intermédiaire d'une fondation de l'association suédoise pour la technique du chauffage et de la ventilation. Le laboratoire a exécuté ces dernières années une série importante d'essais relatifs à l'usage de la ventilation dans les différents types de maisons d'habitation. D'autres essais ont eu pour but l'étude de l'efficacité de la ventilation dans différents cas, le problème du soufflage de l'air par les ventilateurs et la vitesse en différents points de l'air soufflé par l'intermédiaire d'ouvertures de formes différentes. A cette occasion on a pu élucider le problème du tirage. On a étudié le problème de la circulation et ses perturbations en ce qui concerne les installations de production d'eau chaude. On s'est également occupé des problèmes économiques, par exemple de la dimension des chaufferies, des dimensions économiques des canalisations, des points favorables pour l'installation des pompes dans les grands réseaux de chauffage par eau chaude, de la chute économique de température dans les radiateurs, des dimensions économiques des installations d'eau chaude, etc. On a fait en outre des études relatives aux problèmes du chauffage et de l'accumulation dans les appareils de production d'eau chaude. On a étudié certains problèmes relatifs aux chaudières et à la technique du chauffage. Nous traiterons plus loin avec plus de détails ce qui concerne quelques travaux en cours.

On a mesuré pendant les trois dernières années l'influence des facteurs climatiques sur l'isolation thermique d'une paroi exposée au vent. Les mesures ont été faites avec un instrument spécial, placé sur la toiture du laboratoire. Cet instrument qui a la forme d'un cube d'environ 0,70 m de côté est représenté sur la figure 4. La figure 5 montre le détail de l'appareil. Celui-ci comprend à l'intérieur une boîte dans laquelle circule un liquide chauffé jusqu'à une certaine température. A l'extérieur de cette boîte se trouve une paroi composée de quatre plaques minces en bakélite, puis à l'extérieur, d'une nouvelle plaque en bakélite de 3 mm d'épaisseur.



FIG. 4. — Appareil mesurant l'influence des facteurs climatiques sur l'isolation thermique d'une paroi exposée au vent.

Ces plaques sont montées à un certain intervalle les unes des autres, de façon à laisser une mince couche d'air entre les plaques. La plaque extérieure de chaque côté du cube est partagée en quatre carrés dont deux sont peints en noir et deux recouverts d'une pellicule d'or. Comme l'appareil est étalonné on peut mesurer le coefficient de transmission des parois en enregistrant la chute de température dans les parois. La température est relevée au moyen de thermomètres placés en partie dans le liquide, en partie sur les carrés des plaques extérieures. Les différentes couches extérieures noires ou dorées permettent de faire la distinction entre la perte de chaleur par convection et par rayonnement. Les pertes de chaleur ont été mesurées pendant une période de trois ans. Le but a été surtout de constater comment elles varient avec la température extérieure et avec les autres facteurs climatiques, tels que le vent et le rayonnement. On voulait déterminer comment varie le besoin de calories avec la situation météorologique pour fixer les corrections à utiliser pour le calcul des calories nécessaires au chauffage en tenant compte des intempéries. Comme exemple d'un résultat obtenu on peut signaler que, tandis que la perte de chaleur par convection pendant une nuit d'hiver dépend de la température qui peut être par exemple de

— 5°C, la perte par rayonnement dépend de la température radiante de l'ambiance, laquelle peut descendre dans le même exemple à — 80°C.

Le laboratoire a expérimenté dans ces dernières années un instrument d'un nouveau type pour mesurer la transmission de chaleur. Les types utilisés antérieurement fonctionnaient surtout avec des éléments thermo-électriques et il fallait pour des travaux d'une certaine durée appliquer des enregistreurs coûteux et sensibles. On rencontra de ce fait certaines difficultés pour les études de longue durée dans les appartements occupés. Avec les

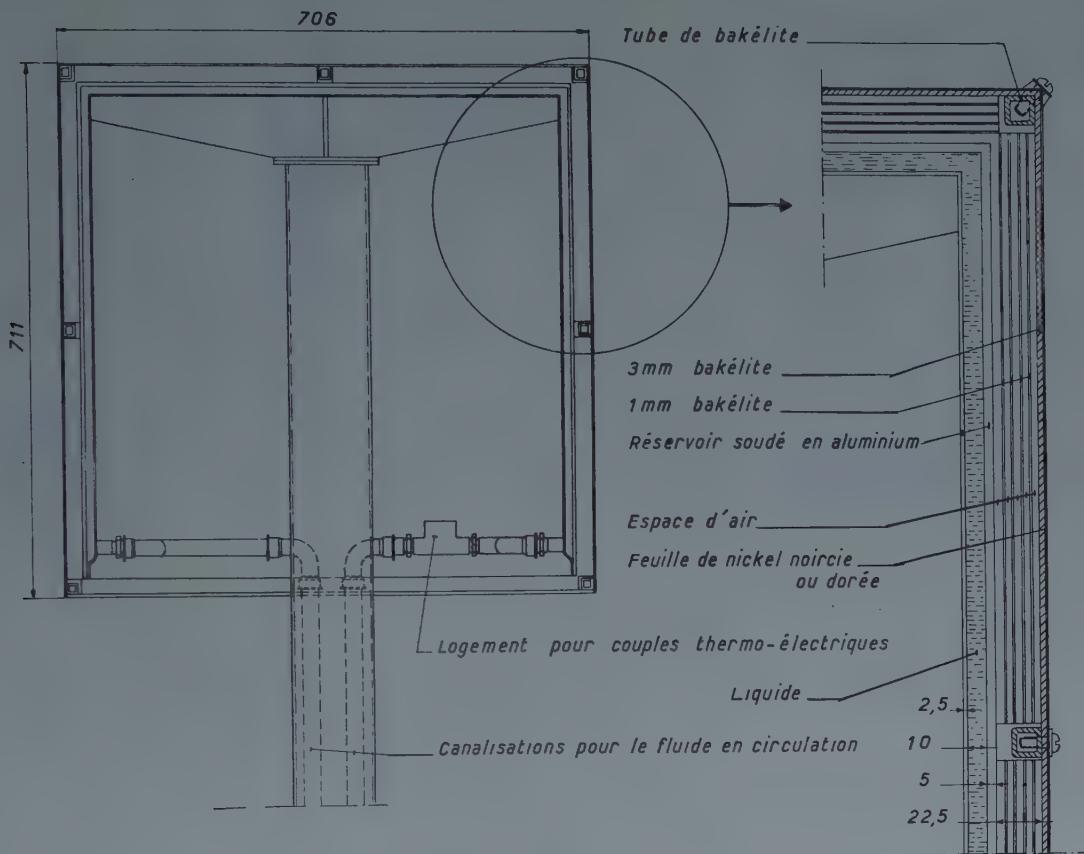


FIG. 5. — Appareil pour la mesure du climat thermique.

nouveaux instruments on évite une partie de ces difficultés. L'appareil est petit et n'est pas très fragile; il peut être suspendu dans les appartements occupés sans gêne pour les locataires. Il est aussi relativement peu coûteux et peut être fabriqué en série.

La construction de l'appareil est représentée sur la figure 6. Il consiste en deux plaques d'aluminium séparées par une plaque mince de bakélite. Si l'on pose l'appareil contre une paroi froide, l'une des plaques d'aluminium devient plus froide que l'autre et la différence de température indique la transmission de chaleur par l'instrument et par la paroi. D'autre part, l'appareil contient un tuyau en verre en forme de U. Les deux branches passent dans des trous des plaques d'aluminium. Le tuyau est complètement vidé, puis en partie rempli d'un liquide qui bout à basse température. Les deux branches du tuyau sont reliées entre elles par une communication par laquelle peut passer la vapeur, mais non le liquide. S'il existe une différence de température entre les deux plaques d'aluminium, un courant de chaleur passe d'une plaque à l'autre branche du tuyau. La chaleur transmise fait évaporer une partie du liquide dans cette branche et la vapeur est de nouveau condensée dans l'autre branche. Il y a donc transfert de liquide d'une branche à l'autre et la quantité de liquide transférée est proportionnelle à la différence entre la température des deux plaques d'aluminium. C'est une mesure de la transmission de la chaleur à travers la paroi. Une condition essentielle pour le bon fonctionnement de l'appareil

est que le vide dans le tuyau soit aussi parfait que possible et que le liquide soit, par des distillations fractionnées, complètement épuisé en gaz. Sous ces conditions on obtient en général avec cet appareil des résultats très satisfaisants. La marge des erreurs est inférieure à 2 %. Pour déterminer la transmission de chaleur à travers la paroi, on place l'appareil sur la paroi et on l'y laisse de une à deux semaines. Cette durée est nécessaire pour éliminer les erreurs qui pourraient autrement provenir des variations inévitables de température. Cet appareil a été appliqué au début pour déterminer la transmission de chaleur à travers une paroi exposée à différentes vitesses du vent et pour déterminer les corrections à appliquer pour les calculs des déperditions. Plus tard, l'appareil a été également employé en combinaison avec d'autres appareils pour mesurer la température afin de déterminer les coefficients de déperdition calorifique des parois en différents matériaux de construction. Les appareils employés pour mesurer la différence de température entre le côté intérieur et le côté extérieur des parois sont des « thermistors », matériel dont le coefficient de transmission est très élevé, qui est assez mauvais conducteur et qui peut être employé comme thermomètre à résistance. Ces thermistors ont été employés accouplés et la mesure a été combinée avec le temps à l'aide de compteurs électriques. Les thermistors donnent des courants suffisamment intenses pour qu'on puisse les mesurer sans aucune difficulté avec de simples compteurs électriques. On a ainsi obtenu des appareils très simples et peu encombrants pour mesurer les températures et on

a pu entreprendre alors en grande série les vérifications dans des appartements occupés. Les résultats de ces expériences seront publiés ultérieurement.

Une partie des études a été faite en commun entre les pays scandinaves : le Danemark, la Finlande, la Norvège et la Suède. Ces études avaient pour but d'obtenir des normes uniformes, par exemple pour les essais des radiateurs, des chaudières, etc., et de tenter d'établir des prescriptions uniformes relativement aux mesures de sécurité pour chaudières, gaines de ventilation, etc. Ce sont les associations des ingénieurs de chauffage des quatre pays scandinaves qui en ont pris l'initiative et qui ont réalisé cette coopération. Le résultat a été très intéressant et a abouti à une coopération étroite et à d'excellentes relations aussi bien administratives que personnelles entre les ingénieurs de chauffage des quatre pays.

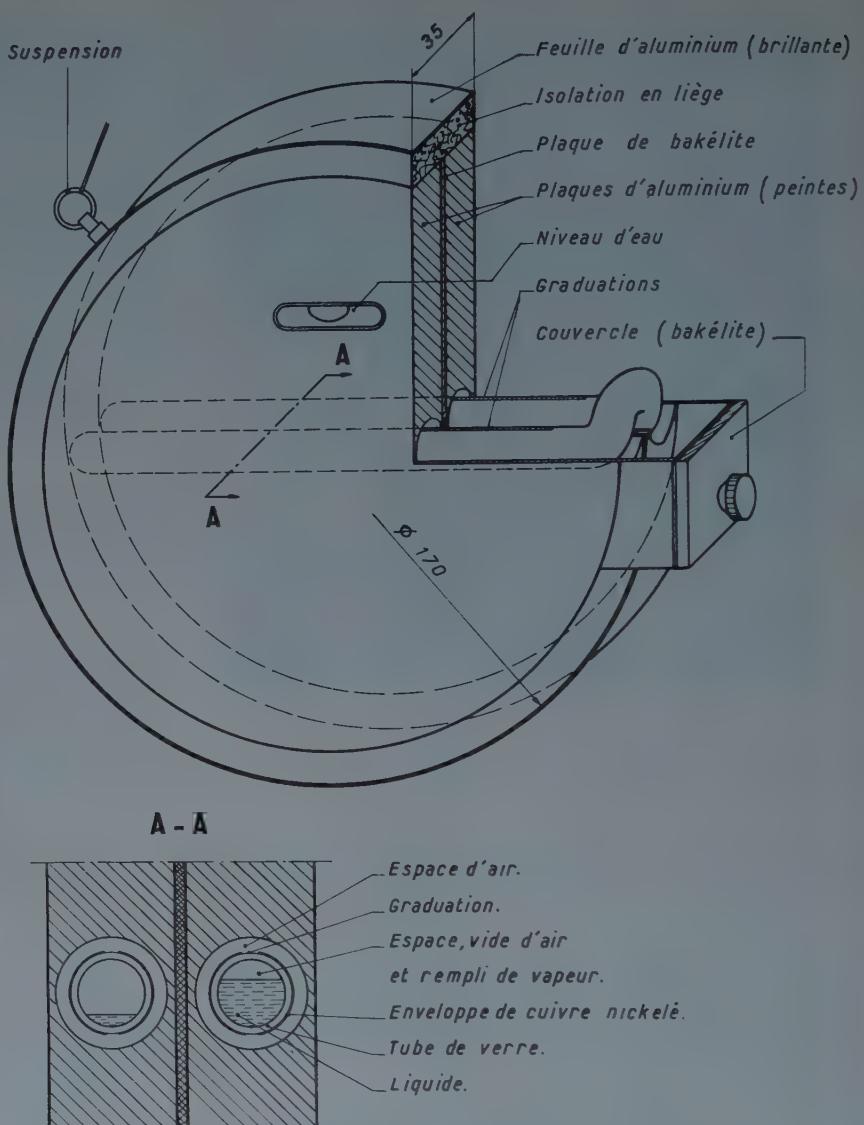


FIG. 6.  
Appareil pour la mesure du flux thermique.

#### CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Messieurs, je remercie M. THIN de sa lecture et je regrette l'absence de M. RYDBERG, parce que j'aurais voulu le féliciter chaleureusement de l'intérêt de sa communication. Vous voyez que, quoique la patrie de M. RYDBERG soit petite, les études qui y sont poursuivies sont néanmoins très importantes, aussi bien dans le domaine étudié que dans le matériel expérimental conçu.

En outre, une chose très intéressante est la liaison établie entre les quatre pays nordiques pour normaliser le matériel, les études, et effectuer des recherches en commun. J'y vois le point de départ, possible, d'une Europe technique de laquelle nous pouvons rêver et qui sait si, d'ici quelques années, ce ne sera pas la tache d'huile qui s'étendra et qui nous amènera à coordonner nos études et peut-être même nos symboles avec les pays voisins.

# ÉVOLUTION DES RECHERCHES ET DES TECHNIQUES EN NORVÈGE DEPUIS 1940

Par M. A. WATZINGER.

## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

M. WATZINGER, que nous avons l'honneur d'accueillir en tant que représentant de la technique norvégienne, a été professeur de la technique de la chaleur et du froid à l'École Polytechnique de Norvège, à Trondheim.

Depuis sa retraite, il consacre son activité au laboratoire annexé au laboratoire des Machines thermiques, qui s'occupe particulièrement de la conduction de la chaleur et de la diffusion de la vapeur d'eau dans les matériaux de construction.

Il est membre de l'Académie norvégienne des Sciences. C'est donc un homme éminent, qui est particulièrement qualifié pour parler de l'évolution des recherches et des techniques en Norvège depuis 1940.

Je souhaite la bienvenue à M. FENIGER, qui veut bien lire la conférence de M. WATZINGER. M. WATZINGER parle le français mais, pour une lecture, il a préféré que sa conférence fût dite par M. FENIGER, qui, poursuivant des travaux très intéressants sur les effets physiologiques du froid, est donc indirectement un de nos confrères, et s'il voulait une année prochaine nous parler lui-même de ses travaux, il nous intéresserait beaucoup. Je vous passe donc la parole, M. FENIGER, pour lire la conférence de M. WATZINGER.

### Les combustibles.

Les restrictions et les modifications que la guerre et l'après-guerre ont entraînées dans l'approvisionnement en combustibles ont eu d'importantes répercussions sur le chauffage des locaux depuis 1940 jusqu'à ce jour.

La campagne et les fermes isolées qui couvrent leurs besoins avec le bois de leurs propres forêts (complété dans certaines régions par de petites quantités de tourbe) n'ont pas été touchées par ces changements. C'est là la raison qui fait du bois, encore aujourd'hui, le moyen de chauffage le plus important de la campagne, et par conséquent du pays.

Par contre, l'approvisionnement des villes qui, avant la guerre, était essentiellement couvert par l'importation de combustibles solides, coke et charbon, et de quantités relativement faibles de combustibles liquides, a subi les plus grandes variations. Au cours de la guerre 1940-1945 l'importation des combustibles solides et liquides a été arrêtée et la Norvège a dû rechercher des produits de remplacement parmi ses propres combustibles. Les grandes et les petites installations de chauffage, même les chaudières à charbon, ont été transformées pour le chauffage au bois. Après la guerre, l'approvisionnement a été rendu difficile par les restrictions apportées aux exportations des régions houillères de l'Europe, particulièrement le charbon a dû être importé de l'Amérique, d'où augmentation des frais de transport. De plus, l'instabilité de l'approvisionnement entraîna également une hausse continue des prix. Le coke faisait particulièrement défaut.

Comme le prix de la calorie obtenue par les combustibles liquides était plus avantageux et l'importation de ceux-ci plus régulière, on transforma dans les premières années d'après-guerre beaucoup d'installations de chauffage central d'une certaine importance, ainsi que les grandes chaudières au chauffage au mazout. Il en résulte nécessairement un accroissement important de la consommation de l'huile lourde.

En même temps, l'expérience du temps de guerre et l'instabilité politique des années d'après-guerre encouragèrent tous les efforts de la Norvège pour se rendre dans une large mesure indépendante de l'étranger.

La Norvège avait à cet effet deux possibilités qui n'ont pas été utilisées à fond :

1<sup>o</sup> L'emploi plus étendu de l'énergie hydraulique pour le chauffage électrique;

2<sup>o</sup> La transformation en coke du charbon de Svalbard (tiré des mines norvégiennes du Spitzberg).

### Électricité.

De tous les pays du monde la Norvège est celui qui possède la production la plus élevée d'énergie hydraulique par habitant et elle dispose encore de réserves très importantes que l'on peut aménager. Cette énergie a été utilisée en premier lieu à des fins industrielles.

Pour les besoins domestiques, l'électricité était essentiellement utilisée avant la guerre pour l'éclairage, la cuisine et le chauffage de l'eau, et seulement dans une faible mesure pour le chauffage des locaux.

L'augmentation des prix des combustibles solides et liquides après la guerre a permis d'utiliser l'énergie électrique également pour le chauffage et de grandes quantités de courant ont été libérées dans les villes, et tout d'abord à Oslo, pour le chauffage électrique, surtout dans les constructions neuves. Les tarifs se trouvaient si bas que les frais de chauffage restaient très inférieurs à ce qu'ils étaient pour les combustibles solides.

Le fait que la plus grande demande de chaleur pour le chauffage se produit au moment de la plus faible alimentation en eau de la plupart des centrales hydrauliques, n'est pas favorable à l'introduction générale du chauffage électrique. Compte tenu de ce qui précède, il est irrationnel de faire dépendre uniquement de l'électricité le chauffage des maisons d'habitation. Il faut toujours prévoir des systèmes de chauffage complémentaires pour couvrir les pointes dans les périodes les plus froides, et aussi comme réserve pour le cas d'interruption dans la fourniture du courant. Ainsi, des poêles métalliques à bois peuvent être utilisés, dont de nouveaux types ont été mis au point pour brûler des bûches de 40 et 60 cm de long. Même dans les villes où ce mode de chauffage n'était pas courant, le poêle à bois a pris son importance, non seulement comme complément du chauffage électrique, mais pour seconder les installations de chauffage central, principalement dans la période de transition.

Dans le cas de grosses installations de chauffage central, on combine des chaudières électriques avec celles chauffées au mazout.

L'utilisation plus générale de l'électricité pour le chauffage est subordonnée à la construction accélérée de nouvelles centrales hydrauliques. Comme la construction de ces centrales représente également un grand intérêt pour les industries exportatrices et l'électrification des chemins de fer, on y a consacré, dans l'après-guerre, des sommes qui, même en tenant compte de leurs valeurs réelles, sont de beaucoup supérieures à celles correspondantes d'avant-guerre.

### Charbon de Svalbard.

En raison de sa forte teneur en matières volatiles et de sa tendance à se fragmenter en petits morceaux et en poussière, le charbon de Svalbard n'est pas propre à être utilisé dans les chaudières de chauffage et les poêles usuels. Des locomotives et des navires utilisent depuis quelque temps le charbon sous forme de briquettes dont les qualités sont maintenant satisfaisantes. Pour les besoins de l'industrie on a réussi d'après la méthode de l'Ingénieur JENSEN, à réaliser la cokéfaction de briquettes à liant de lessive de sulfite qui peuvent être utilisées pour le chauffage des locaux, si les installations sont suffisamment grandes.

### La répartition de la dépense calorifique pour le chauffage de 1940 à 1950.

La figure 7 représente la dépense calorifique annuelle pour le chauffage des locaux depuis la période d'avant-guerre jusqu'à l'hiver 1949-1950. Les valeurs sont rapportées à un million de locaux et calculées sur la dépense calorifique d'une année normale (dépense moyenne sur une période de trente années). La dépense calorifique est partagée entre les divers combustibles. Les combustibles indigènes, bois, tourbe et électricité, ont été réunis par des hachures.

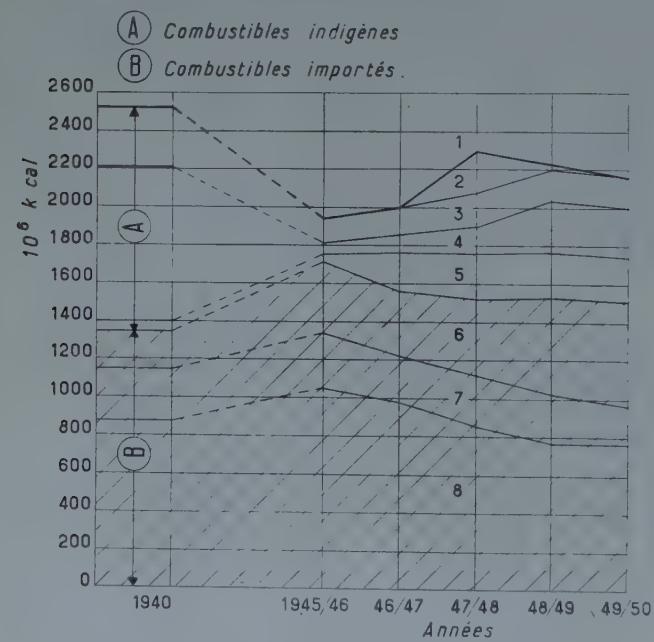


FIG. 7. — Dépense calorifique annuelle pour le chauffage des locaux en Norvège pendant la période de 1940 à 1949-1950, rapportée à 1 million de locaux d'habitation, et calculée pour un « hiver normal » (Moyenne d'une période de 30 ans). [Rorlagskrift, février 1953, p. 22.]

Tandis que la consommation du coke était avant la guerre à peu près de la même importance que celle du bois, la consommation actuelle du coke est tombée au tiers environ, tandis que la consommation de mazout et d'électricité a sensiblement augmenté.

La dépense calorifique totale pour un million de locaux d'habitation a diminué sensiblement jusqu'en 1950 par rapport à l'avant-guerre, mais semble avoir atteint son minimum. Les raisons en sont : l'augmentation des prix des combustibles (à l'exception de l'électricité) depuis 1940, l'amélioration des poêles, la diminution des dimensions des locaux, enfin une meilleure isolation thermique.

### Les recherches.

Les nouveaux aspects du chauffage des locaux posent une quantité de problèmes qui ont obligé la Norvège à procéder à un travail systématique de recherches dans tous les domaines relatifs à ces questions.

### Laboratoires de recherches.

Tandis que les problèmes techniques concernant la chaleur et le chauffage étaient confiés avant la guerre à mon Laboratoire Général d'Énergie Thermique de l'École Polytechnique de Norvège, on a créé aujourd'hui plusieurs laboratoires dont un, spécialisé dans les questions de chauffage et de ventilation, dirigé par le Docteur GRÖNNINGSAETER. La Compagnie municipale d'électricité d'Oslo a un laboratoire de thermo-électricité dirigé par l'Ingénieur civil H. J. LINDEMANN. Le Conseil National de Recherches pour les Sciences Naturelles Appliquées, fondé depuis quelques années, a ouvert auprès de l'École Polytechnique de Norvège, un laboratoire spécial du bâtiment lequel collabore avec l'Institut de Recherches du Bâtiment à Oslo, dirigé par l'Ingénieur civil Öyving BIRKELAND.

Pour tout travail de recherche, il est nécessaire avant tout de dresser l'inventaire de ce qui existe.

### Conduction thermique des matériaux de construction.

Dans le but de mettre à la disposition des architectes et des ingénieurs du chauffage des données chiffrées sûres relatives aux besoins calorifiques des locaux, nous avons systématiquement exploité les mesures effectuées au cours de plus de trente années dans le Laboratoire Général d'Énergie Thermique sur les coefficients de conduction thermique des matériaux de construction et des isolants, et nous les avons fait paraître dans une publication : *Varmeledningstall for byggematerialer*.

La figure 8 représente les valeurs limites des coefficients de conduction thermique pratiques en kcal/mh °C que l'on peut atteindre avec différents matériaux de construction et différents isolants, en fonction du poids spécifique du matériau en kilogrammes par mètre cube. A titre de comparaison, nous avons porté sur les deux courbes inférieures, les valeurs limites théoriques du coefficient de conduction thermique des corps minéraux et organiques.

La courbe supérieure S représente les valeurs limites pratiques pour les briques et le béton. La courbe F donne les valeurs pour les matériaux en fibres organiques, principalement pour les panneaux en fibre de bois, qui sont employés comme revêtements muraux. Entre les deux se trouve la courbe des panneaux de ciment et laine de bois T qui se répandent beaucoup depuis quelque temps. Dans le domaine des plus faibles poids spécifiques, nous avons porté les courbes relatives aux plaques de liège expansé K, et aux matières minérales de remplissage U. Parmi ces dernières, les laines de verre et de roche ont pris une très grande extension comme isolants.

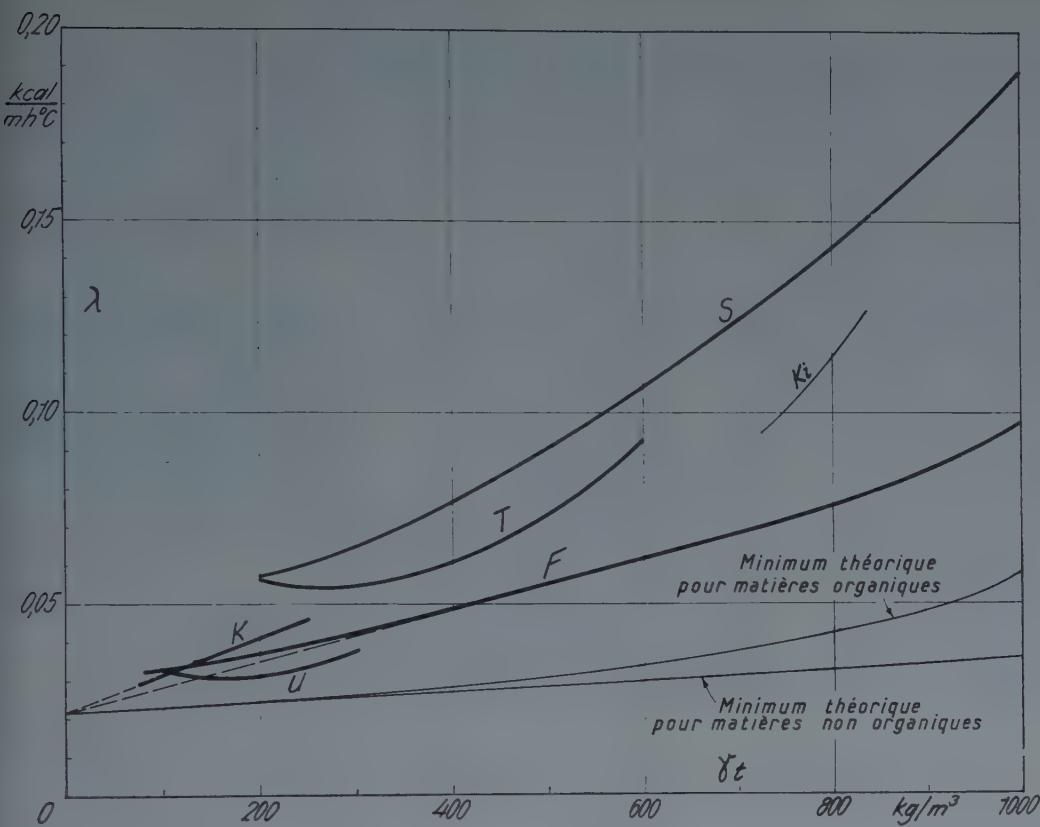


FIG. 8. — Coefficient optimum de conduction thermique  $\lambda$  de matériaux de construction et d'isolation secs, en kcal/mh °C, en fonction du poids spécifique à sec  $\gamma_t$  en kg/m<sup>3</sup>, basés sur des mesures effectuées au Laboratoire de l'énergie thermique de l'École Polytechnique de Norvège, à Trondheim.

$S$  = Briques et béton.

$K_i$  = Panneaux Kivron (matières minérales additionnées de sciure de bois).

$T$  = Panneaux de ciment et laine de bois.

$K$  = Panneaux de liège expansé.

$F$  = Panneaux de plastique et fibre de bois.

$U$  = Laine minérale (laine de verre et de roche).

Les mesures du coefficient de conduction thermique servent de base au calcul préalable des coefficients globaux de transmission de la chaleur des matériaux de construction et sont complétées par des mesures de flux de chaleur dans des maisons achevées et dans des panneaux d'expérimentation de murs. Tandis que nous nous contentions avant la guerre, alors que les prix des combustibles étaient relativement bas, de coefficients de transmission de chaleur  $K$  de 1,4 à 1,0, nous utilisons actuellement pour des constructions nouvelles des valeurs de 0,8 à 0,6, et il existe des constructions où  $K$  est inférieur ou égal à 0,5 kcal/m<sup>2</sup>h °C. Cette importante diminution des pertes thermiques est atteinte sans augmentation du prix des murs et même avec une économie importante de matériaux, grâce à l'isolation des murs et des planchers à l'aide de laine minérale. La perte considérable de chaleur due aux fenêtres est généralement réduite à plus de la moitié de sa valeur par l'emploi des doubles fenêtres. Pour les locaux chauffés de façon intermittente (par exemple les écoles), les fenêtres triples présentent également des avantages économiques.

#### Radiateurs.

Pour faciliter le choix des radiateurs et pour avoir en même temps une base pour leur fabrication rationnelle, nous avons effectué pendant la guerre des mesures systématiques sur la transmission de la chaleur des radiateurs. La Norvège ne construit que des radiateurs à plaques embouties soudées dans le type de ceux indiqués sur la figure 9 : radiateurs à éléments séparés, panneaux chauffants et radiateurs à ailettes creuses d'un seul côté ou des deux côtés. Tous ces types ont été mis au point chez nous ; les premiers dérivent des prototypes étrangers,

les derniers, à ma connaissance, sont des créations norvégiennes originales.

Les courbes de la figure 9 donnent les coefficients de transmission de chaleur  $K$  des divers types en kcal/m<sup>2</sup>h °C pour une même hauteur (0,6 m) et une même longueur (1,0 m) du radiateur en fonction de sa profondeur  $b$  (c'est-à-dire de son encombrement). Les valeurs des courbes se rapportent à la transmission de chaleur dans le cas du chauffage par eau chaude avec une différence de température entre l'eau et l'air de  $\Delta t = 60^\circ \text{C}$ .

Pour tous les types, ces mesures et ces calculs ont conduit à la simplification de la fabrication et à la réduction du nombre des modèles.

Les études de détail ont été consacrées entre autres à la répartition de la transmission de la chaleur par convection et rayonnement pour divers types et divers traitements des surfaces.

#### Conditions climatiques.

Par suite de la diversité des températures extrêmement élevées et par conséquent, des besoins de chauffage des locaux dans les diverses régions du pays, les recherches statistiques sur les conditions climatiques de la Norvège, effectuées par le météorologue d'État Werner JOHANNESSEN présentent une grande valeur pour l'ingénieur du chauffage.

#### Les techniques.

Le développement de la technique et de la fabrication d'un petit pays se trouve lié pratiquement à celui des grands pays industriels. Il s'agit essentiellement d'adapter

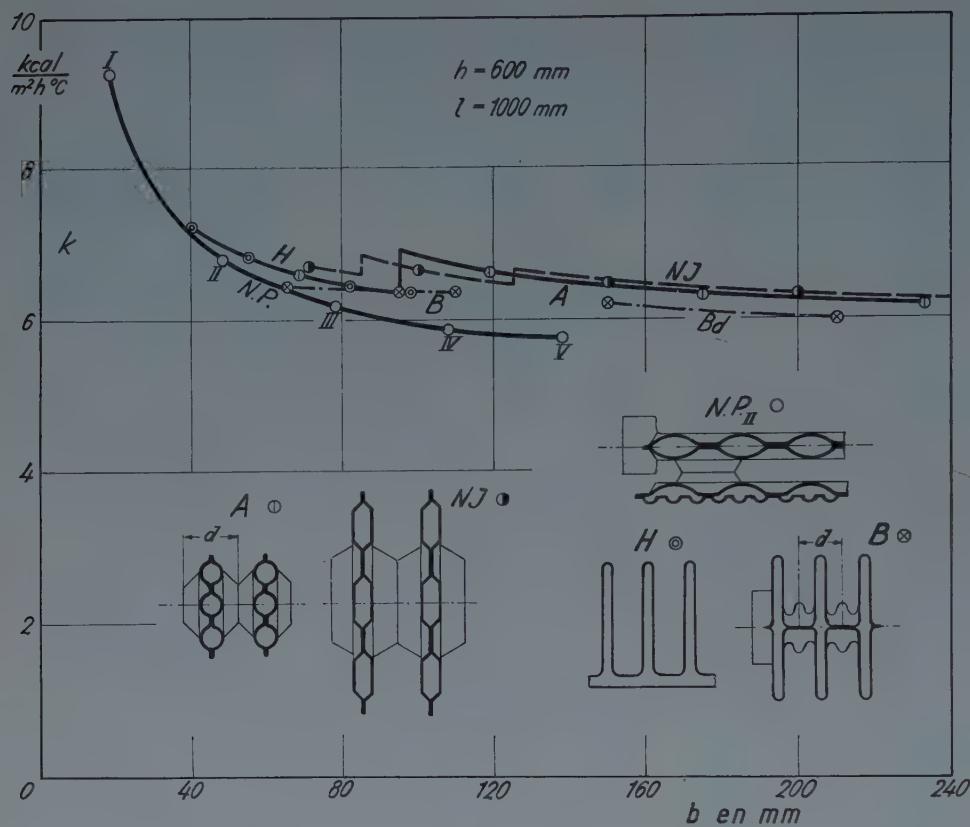


FIG. 9.

Coefficients globaux de transmission de chaleur  $K$ , en  $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$  de radiateurs à plaques embouées soudées de même hauteur ( $H = 600 \text{ mm}$ ) et de même longueur ( $l = 1000 \text{ mm}$ ) en fonction de leur largeur  $b$ . Schémas de construction (coupe horizontale) de radiateurs à éléments séparés (A et NJ), à panneaux (NP) et à oeillettes creuses d'un seul côté (H) ou des deux côtés (B).

aux conditions climatiques du pays les possibilités de fabrication.

Nos installations de ventilation et de conditionnement de l'air ne diffèrent des fabrications en série de l'industrie étrangère que par des détails. Nous utilisons assez souvent dans ces installations des appareils étrangers, surtout suédois ou nous les construisons sous licence. Ce n'est que récemment que des sociétés indépendantes se sont constituées.

#### Ventilation naturelle.

Parmi les récents travaux particuliers, je citerai les recherches sur l'exécution de canaux d'aération pour de grands blocs d'habitation. On emploie ici deux systèmes pour la ventilation naturelle :

a) Des conduits qui vont directement de chaque logement jusqu'au-dessus du toit, et

b) Le système à gaines collectives, dans lequel les conduits d'aération d'un logement sont prolongés jusqu'à l'étage supérieur pour y être raccordés à un collecteur.

Les mesures anémométriques des débits d'air effectuées sur des blocs d'habitation identiques possédant les deux systèmes de ventilation ont montré que le système à collecteur donne un tirage sensiblement meilleur que le système qui comporte des conduits directs.

#### Installations de conditionnement d'air.

Dans les conditions climatiques de la Norvège, les installations de conditionnement de l'air ont peu d'importance pour les locaux d'habitation. Si nous faisons abstraction des applications industrielles, en particulier dans l'industrie textile, les installations de conditionne-

ment de l'air se trouvent là où les exigences du confort, ou l'augmentation possible du rendement du travail, les rendent désirables. Au cours des travaux d'agrandissement de notre École Polytechnique, nous avons, par exemple — en plus des laboratoires — installé pour les salles de lecture des élèves, des systèmes de conditionnement de l'air qui, en complément d'un chauffage central à eau chaude ou électrique, participent au chauffage des locaux, en même temps qu'ils assurent leur refroidissement en été.

Ces dernières années, des théâtres, cinémas, grandes salles de réunion, ont été pourvus d'installations de conditionnement de l'air. Les salles des séances et des fêtes du nouvel Hôtel de Ville d'Oslo sont ainsi munies d'une climatisation qui suffit à elle seule au chauffage des locaux en assurant leur ventilation simultanée, et de plus, permet de les refroidir en été. Il est à noter que l'on obtient par la suppression des radiateurs, une meilleure esthétique des salles.

#### Chaudrage par rayonnement.

La même possibilité se présente avec l'emploi de plafonds rayonnants, dits « plafonds Frenger » qui ont trouvé en Norvège un mode d'exécution particulier dû à l'Ingénieur Gunnar FRENGER — qui permet d'allier le chauffage ou la réfrigération par rayonnement du plafond avec l'insonorisation et l'aération des locaux. Ce procédé est certainement la création la plus importante de la Norvège dans le domaine de la technique du chauffage et du conditionnement de l'air depuis la guerre.

Les chauffages par rayonnement sont utilisés depuis environ quarante ans en Europe, particulièrement en Allemagne, en Angleterre et en Suisse. A titre indicatif

1. Boulon de fixation;
2. Lambourde;
3. Vis à bois;
4. Feuillard de suspension;
5. Écrous de réglage;
6. Vis de réglage;
7. Étrier;
8. Tube carré de 25 mm × 25 mm;
9. Baguette de 6 mm × 15 mm;
10. Tasseau mural de 25 mm × 50 mm;
11. Trou de 4 mm avec écartement de 15 mm;
12. Plaque d'aluminium de 600 × 600 × 0,75 mm;
13. Pince;
14. Laine minérale.

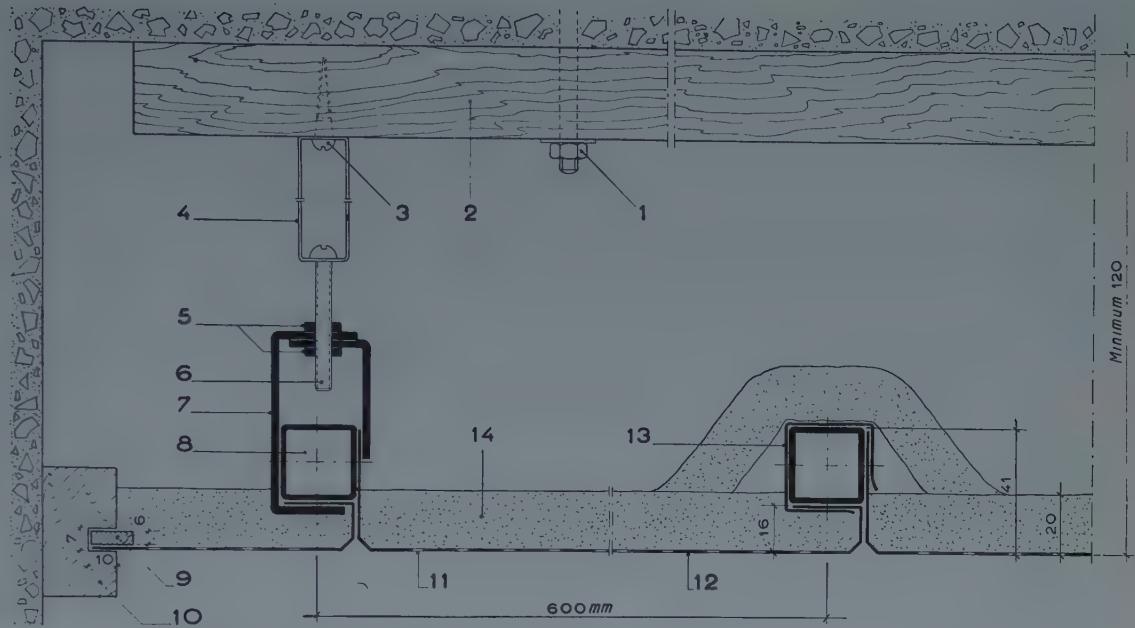


FIG. 10. — Plan schématique du plafond Frenger pour chauffage par plafond rayonnant, isolation acoustique et ventilation.

je signale que nous avons équipé en 1932, au cours de la réfection de la cathédrale de Trondheim, la nef ouest d'une longueur d'environ 50 m, avec un chauffage électrique inclus dans le plancher. Les résistances chauffantes ont été posées perpendiculairement à l'axe de la nef, parallèlement les unes aux autres, à des écarts de 0,50 m dans des canaux situés immédiatement au-dessous des plaques de marbre de 3 cm d'épaisseur constituant le plancher. Le rayonnement est dirigé vers le haut au moyen de réflecteurs en tôle polie placés au-dessous des résistances.

Dans les systèmes les plus répandus, c'est le plafond qui est utilisé comme surface rayonnante. Les serpentins soudés constituants le dispositif de chauffage par eau chaude sont inclus dans le plafond en béton et réchauffent celui-ci qui fait ainsi rayonner la chaleur dans le local. Ces installations se trouvent principalement dans les hôpitaux, les écoles, les piscines couvertes et les constructions à usage de bureaux, mais également dans des maisons privées confortables. Du point de vue de l'architecte, l'invisibilité du système de chauffage est un avantage essentiel; du point de vue de l'ingénieur de chauffage, c'est le chauffage régulier des murs des locaux et du plancher, à une température supérieure à celle de l'air intérieur. Comme l'être humain perd dans un local ainsi chauffé un peu moins de chaleur par rayonnement, on peut augmenter la convection, ce qui se traduit par une diminution de la température de l'air de 1 à 2° C environ. Dans un local chauffé par rayonnement, on se trouve à 18° C au moins aussi bien qu'à 19 ou 20° C dans un local chauffé par radiateurs.

Par suite de l'inertie thermique des grandes masses de béton chauffé, il est difficile de régler la puissance en fonction des besoins calorifiques.

On supprime cette difficulté dans le système *Frenger* par la disposition des tubes chauffants suspendus librement au plafond (fig. 10). Du côté du local un faux-plafond servant de surface rayonnante en plaques d'aluminium recouvre les tubes qui sont reliés à ces dernières

afin d'assurer une meilleure transmission de la chaleur. Grâce au coefficient élevé de conduction de l'aluminium ( $\lambda = 175 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$ , contre 0,7 à 1,5  $\text{kcal/mh } ^\circ\text{C}$  pour le béton) ces plaques assurent une répartition idéale de la chaleur.

Les essais effectués avec les plafonds rayonnants *Frenger* ont commencé à Oslo en 1944, et l'année suivante les premiers étaient en service pour le chauffage et la réfrigération. On a réussi, après des essais qui ont duré plusieurs années, à réaliser la construction de ces plafonds de manière à faciliter leur fabrication en série et à simplifier leur montage.

Les tubes chauffants de section carrée ou circulaire (fig. 10) sont livrés en éléments préfabriqués suivant les conditions du local à équiper. Ces éléments sont suspendus sous le plafond et reliés par soudure aux collecteurs centraux d'eau chaude. Des pinces spéciales de contact en duralumin relient les tubes aux plaques d'alu. L'écartement des tubes est normalement de 60 cm; les plaques rayonnantes sont soit de forme carrée de 60 cm de côté, soit (si l'on désire augmenter l'effet de ventilation et de réfrigération) de forme rectangulaire de 60 × 40 cm<sup>2</sup> ou de 60 × 30 cm<sup>2</sup>. L'épaisseur des plaques est de 0,75 mm. Ces plaques comportent sur deux côtés opposés des arêtes relevées à 90° formant cornières, qui s'adaptent dans les pinces de contact des tubes et forment la liaison conductrice entre le système tubulaire et la plaque rayonnante (fig. 11).

Comme le plafond n'a pour ainsi dire pas d'inertie thermique on peut contrôler et régler convenablement la puissance calorifique.

Pour le chauffage on utilise la circulation d'eau chaude, la réfrigération étant assurée par de l'eau froide dont la température ne doit jamais être inférieure au point de rosée.

La surface des plaques tournée vers l'intérieur du local est peinte pour augmenter le coefficient de rayonnement, tandis que l'autre côté et les tubes doivent être isolés thermiquement à l'aide de laine minérale, afin de

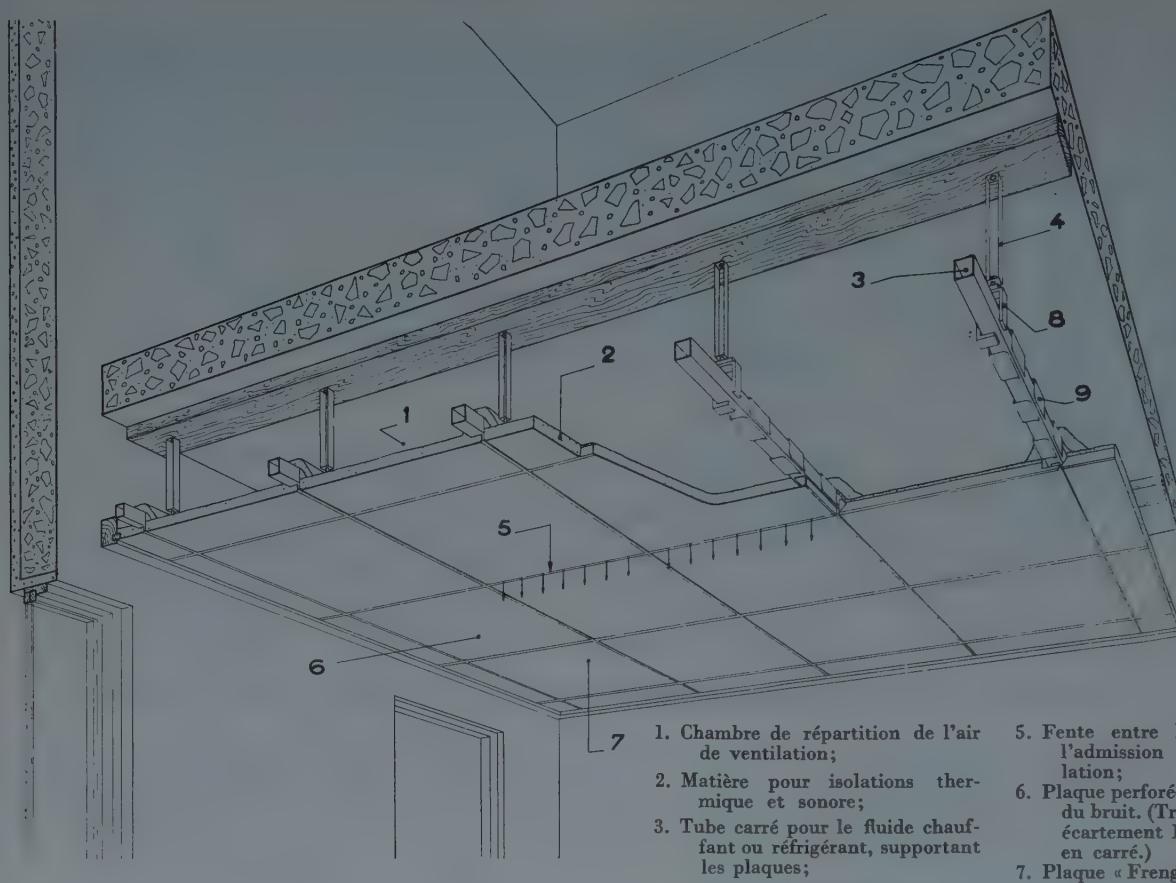


FIG. 11.

Système Frenger.  
Montage  
des plaques  
carrées  
en aluminium  
du faux-plafond.

1. Chambre de répartition de l'air de ventilation;
2. Matière pour isolations thermique et sonore;
3. Tube carré pour le fluide chauffant ou réfrigérant, supportant les plaques;
4. Feuillard de suspension;
5. Fente entre les plaques pour l'admission de l'air de ventilation;
6. Plaque perforée pour l'absorption du bruit. (Trous de  $\varnothing = 4$  mm, écartement 15 mm, répartition en carré.)
7. Plaque « Frenger » en aluminium verni à chaud.
8. Étrier;
9. Pince.

réduire la transmission de la chaleur vers le plafond.

Cette même isolation thermique peut servir d'isolation sonore. Il suffit à cet effet de perforez les plaques d'aluminium afin que la laine minérale puisse absorber les ondes sonores.

La construction du faux-plafond permet en outre une simplification essentielle de montage de toute autre canalisation, comme celle d'eau potable ou d'électricité qui peut être visitée facilement par démontage partiel d'une plaque.

Dans le cas des installations de ventilation, l'espace entre le plafond et le faux-plafond peut servir à répartir uniformément l'air de ventilation qui entre dans le local par les petites fentes ménagées entre les plaques rayonnantes. L'air peut être amené dans cet espace à une température très basse, puisqu'il est réchauffé par la surface supérieure du plafond rayonnant et des tubes chauffants.

Le plafond Frenger a fait son apparition dans les pays d'Europe les plus divers, et a été adopté, entre autres, dans toutes les salles du bâtiment des Nations-Unies au Palais de Chaillot. Depuis 1948, la firme américaine Burgess-Manning Co., de Chicago, s'occupe d'adapter le système aux conditions américaines. En 1950 on a construit en Amérique les premières installations d'essais pour le chauffage et la réfrigération des locaux. Aujourd'hui la fabrication en série est en cours. Le système Frenger est utilisé, entre autres, pour le chauffage et la réfrigération des salles du nouveau gratte-ciel de trente étages de l'Aluminum Company of America (Alcoa) à Pittsburgh, qui présente une surface totale de plafond de 30 000 m<sup>2</sup>. La pratique a démontré que la réfrigération par panneaux Frenger couvre pendant l'été les 50 % de la puissance de réfrigération totale nécessaire, ce qui diminue dans cette même proportion la puissance frigorifique nécessaire au refroidissement de l'air.

#### CONCLUSION DU PRÉSIDENT

*Je félicite très vivement M. le Professeur WATZINGER de sa communication extrêmement intéressante et très documentée et je remercie M. FENIGER d'avoir bien voulu la lire avec autant de clarté et de netteté.*

*L'avantage, si j'ose dire, de la Norvège est de ne pas disposer de combustibles naturels et elle a bien dû mettre en valeur ce qu'elle avait. Cela a conduit à des solutions extrêmement heureuses.*

*Je tiens à préciser que l'étude de M. WATZINGER sur la conductibilité thermique a été largement utilisée par le Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation pour son travail sur les coefficients de conductibilité publié dans les Annales. Nous avons signalé avec louange l'œuvre de M. WATZINGER et c'est à ce propos que nous avons été en contact avec lui pour la première fois.*

# L'ÉVOLUTION DES RECHERCHES ET DES TECHNIQUES AU DANEMARK DEPUIS 1940

Par M. S. P. JACOBSEN.

## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

M. JACOBSEN, que nous accueillons avec plaisir comme représentant de l'industrie danoise, est un ancien élève de l'École Polytechnique danoise et il a consacré sa carrière à l'industrie du chauffage et de la ventilation, particulièrement dans le domaine urbain.

Suppléant du directeur des usines du Chauffage urbain depuis 1947, il consacre également une partie de son activité comme ingénieur-conseil des usines à gaz et d'électricité de la ville de Copenhague.

Il va nous exposer l'évolution des recherches et des techniques au Danemark depuis 1940.

### **L'évolution des recherches depuis 1940.**

Sous les auspices de M. le Professeur F. C. BECKER et de son assistant scientifique, M. N. F. BISGAARD, docteur ès sciences, le laboratoire de chauffage et ventilation de l'École Supérieure de Technique du Danemark a effectué, au cours des dernières années, — à côté de l'enseignement de la technique du chauffage aux futurs ingénieurs civils, — des études concernant certaines questions intéressantes sur ce sujet, entre autres choses, sur les champs thermiques en régime variable et, dans cet ordre d'idées, des recherches concernant les conditions de l'exploitation intermittente d'installations de chauffage en faisant ressortir dans ce domaine, la différence constatée entre des bâtiments qui ont les mêmes déperditions calorifiques permanentes, mais une capacité calorifique différente, et avec isolation intérieure ou extérieure.

En cette matière M. BECKER a démontré que, outre l'application des équations de Fourier, le traitement de ces questions pourra s'effectuer par l'application du calcul opérationnel de Heaviside.

M. N. F. BISGAARD a construit ce que l'on nomme un « thermomètre résultant », destiné à l'examen des champs thermiques dont l'ambiance diffère dans les différentes directions, thermomètre qui — à la différence d'un thermomètre ordinaire qui mesure une température moyenne à l'endroit où il est installé — est capable de mesurer la température dans une certaine direction.

Des renseignements sur ces recherches ont été donnés par le Professeur BECKER au VII<sup>e</sup> Congrès International du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement d'Air, tenu à Paris en 1947, et sont enregistrés dans le compte rendu de ce congrès. Considérant la pénurie de combustible qui a sévi au Danemark pendant la guerre, le laboratoire a en outre effectué des essais sur une maison dont la perte de chaleur était très faible. On a construit une maison d'essai dont le chauffage s'effectue par l'électricité produite par un moulin à vent construit de telle manière que pendant la marche la roue du moulin soit presque invisible, afin de ne pas déparer le paysage. Il a été démontré que le chauffage par l'électricité produite par le vent pourra être réalisé avec un accumulateur de chaleur d'un autre genre, de faibles dimensions.

On a en outre signalé que l'obturation des fenêtres d'une maison par des volets isolés de construction spéciale, pendant le soir et la nuit durant la période sombre

de l'année, est extrêmement importante pour l'économie de chauffage.

A l'Institut Royal des Recherches sur le Bâtiment, M. P. BECKER, docteur ès sciences, et d'autres, ont effectué diverses recherches.

Dans une thèse, M. BECKER a traité la question des ouvertures d'émission des installations de ventilation et de chauffage de l'air, et il a formulé et étudié par des essais, diverses théories pour élucider la question du mélange de l'air soufflé et de l'air de la pièce chauffée, de manière à éviter les courants d'air.

L'Institut a d'ailleurs étudié l'isolation la plus économique pour les bâtiments dans les conditions propres au Danemark et montré que les prix actuels des combustibles, et sans doute aussi les prix futurs, exigent une isolation beaucoup plus efficace des bâtiments que celle que l'on a appliquée jusqu'ici au Danemark.

Une publication de l'Institut traite par ailleurs avec détails des cheminées des petites maisons. Cette question fut fâcheusement d'actualité pendant la guerre alors que beaucoup de cheminées ont été détériorées par l'emploi de combustibles gazeux et aqueux : tourbe, lignite et bois. La cheminée généralement employée dans des maisons de ce genre est, conformément aux règlements danois sur les constructions, une cheminée maçonnée dont les dimensions intérieures sont au moins de 23 × 23 cm et dont l'épaisseur des parois est de 11 cm et on a constaté qu'une telle cheminée donne de mauvaises conditions de tirage pour les petites maisons, car la surface est trop grande et l'isolation des parois est défectueuse. On recommande une amélioration de cette cheminée, en partie par la construction d'une dalle pour la protéger contre la pluie, et en partie par l'application d'un revêtement isolant à l'intérieur de la cheminée. En outre, on attire l'attention sur les conditions existant en Angleterre et en Amérique, en donnant des exemples de meilleure exécution des cheminées dans ces pays. On recommande en même temps de modifier la législation du bâtiment au Danemark, afin de permettre l'exécution de cheminées appropriées.

Enfin l'Institut s'est occupé de la bonne isolation et d'une ventilation convenable pour les étables dans l'agriculture, question importante dans un pays agricole comme le Danemark, dont le climat exige que le bétail soit mis à l'étable pendant six mois de l'année. D'un point de vue entièrement théorique on a dressé le bilan calorifique de l'étable, c'est-à-dire la quantité de chaleur enlevée par transmission et ventilation par rapport à la chaleur produite par le bétail, et le bilan d'humidité,

c'est-à-dire le rapport entre l'humidité enlevée par l'air de ventilation et l'humidité produite dans l'étable, provenant tant du bétail que de la vaporisation sur le plancher.

Il est démontré que sur la base du bilan thermique et du bilan de l'humidité, on peut établir quatre équations à quatre inconnues : le coefficient calorifique de l'étable, la quantité d'air de ventilation, la teneur en humidité de l'air de l'étable et le point de saturation, de sorte que l'isolation ainsi que la ventilation peuvent être déterminées par la résolution de ces équations, et on indique une méthode graphique qui permet cette solution.

Simultanément la section de technique de chauffage de l'*Institut Technologique* a effectué, sous la direction de l'Ingénieur en Chef O. Juel JØRGENSEN, diverses études pratiques, notamment sur le chauffage au bois, à la tourbe et au lignite dans des chaudières de chauffage central et sur la lutte contre la formation de suie humide due au chauffage par ces combustibles; la question des cheminées a aussi été traitée par cet Institut qui, en collaboration avec des praticiens, a effectué des essais en vue de trouver des méthodes pour la lutte et la protection contre la suie humide.

On a d'ailleurs effectué des essais relatifs au chauffage avec diverses qualités de coke danois dans des installations de chauffage central, et des essais avec réchauffage et pompage d'huile combustible légère destinée à l'emploi dans des foyers à huile.

L'*Institut* effectue aussi un grand travail d'instruction générale en ce qui concerne l'entretien des installations de chauffage central, et il dispose d'une grande chaufferie comprenant des chaudières de tous les types généralement employés dans notre pays; les propriétaires et les maîtres chauffeurs y sont initiés aux mystères de la conduite d'une chaudière. En outre, on a organisé des cours de montage d'installations de chauffage central pour des installateurs et des cours spéciaux de soudure autogène ainsi que de soudure électrique, ce qui a eu une grande utilité pour l'emploi de la soudure dans les installations de chauffage central au cours des dernières années.

Pour ce qui est des travaux d'un caractère plus scientifique, l'*Institut* a effectué des recherches pour une commission de chauffage domestique instituée par l'Académie des Sciences techniques, composée de médecins et d'ingénieurs et qui avait à étudier la perte de chaleur du corps humain dans différentes conditions; les recherches ont été effectuées avec un modèle d'homme de grande taille, appelé « Henri de fer », construit par l'*Institut*. Le modèle est muni d'un chauffage électrique intérieur et la perte de chaleur est déterminée en mesurant la consommation électrique correspondante.

En divers points de la surface on a incorporé des éléments thermoélectriques destinés à mesurer la température de peau du mannequin. Les essais ont été effectués sur un mannequin revêtu d'un vêtement masculin normal et ils ont donné des renseignements précieux sur la perte de chaleur de l'homme dans diverses conditions.

Parallèlement à ces essais on a effectué des essais spéciaux avec rayonnement de chaleur, spécialement en vue du chauffage domestique. Le sujet a été traité dans une thèse de l'un des collaborateurs de l'*Institut*, l'Ingénieur civil Lorentz PETERSEN. On a d'ailleurs exécuté des essais sur la conductibilité thermique de divers matériaux de construction en relation avec le degré d'humidité des matériaux.

Lorsque les prix des combustibles ont subi une hausse pendant la guerre, ce qui a entraîné une augmentation considérable des frais de chauffage des maisons d'habi-

tation, le Ministère de l'Intérieur a nommé une commission chargée d'étudier les compteurs employés au Danemark, afin de déterminer les rapports entre l'émission de chaleur des radiateurs pour arriver à une répartition équitable entre les consommateurs des frais de service des installations de chauffage central. La commission était composée de l'Ingénieur en Chef M. Juel JØRGENSEN de l'*Institut Technologique*, du Directeur du Laboratoire des Essais de l'Etat, M. Gerhard HANSEN et du Professeur M. J. L. MANSA qui est le chef du laboratoire mécanique de l'*École Polytechnique* danoise. On a effectué des essais, répartis entre les trois Instituts sur les types de compteurs existants : compteurs à évaporation de construction ouverte ou fermée ou compteurs thermo-électriques. Comme on pouvait s'y attendre, les recherches ont démontré que les compteurs thermo-électriques basés sur la mesure de la différence de température moyenne entre le radiateur et l'air de la chambre multipliée par le temps, comme mesure de la quantité de chaleur émise étaient les plus exacts, tandis que les compteurs moins coûteux basés sur l'évaporation d'un liquide approprié, proportionnelle à la température du radiateur et au temps étaient moins précis. Comme l'expérience a démontré que la seule présence des compteurs provoque une économie de la consommation totale, la commission a jugé que les compteurs devaient être considérés comme utilisables en ce qui concerne la répartition d'une partie des frais globaux, tandis que le reste serait réparti suivant le volume de l'appartement ou la surface de chauffe des radiateurs, ce qui était déjà d'usage courant.

A la demande d'une commission nommée par l'Académie des Sciences techniques, le laboratoire mécanique de l'*École Polytechnique* danoise a d'ailleurs étudié divers compteurs destinés au mesurage des quantités de calories fournies par une usine centrale de chauffage urbain par l'eau chaude à différents consommateurs. On a examiné des compteurs de fabrication danoise et d'autres de fabrication étrangère utilisés ou vendus au Danemark.

Les recherches ont permis de constater que, pourvu que les compteurs soient en bon état, ils sont capables de mesurer avec une exactitude suffisante dans un large domaine et que les inexactitudes des compteurs augmentent quand la quantité d'eau est faible; dans ces conditions, les compteurs commandés par le courant d'eau accusent une consommation trop faible, tandis que ceux qui sont commandés par une force motrice extérieure marquent une consommation trop élevée. Dans la pratique il s'est révélé difficile de maintenir les compteurs en bon état et l'inexactitude quand le débit d'eau est faible joue un rôle important pour la mesure totale au cours d'une saison de chauffage. Aussi a-t-on un peu partout au Danemark abandonné ces compteurs. Je reviendrai plus tard sur la méthode de mesure.

Une commission instituée par l'*Association Danoise des Ingénieurs Civils* a établi de nouvelles conditions pour l'exécution des installations de chauffage central et de nouvelles normes pour le calcul de la transmission dans les installations de chauffage. Dans les nouvelles normes de calcul, le supplément à ajouter à la perte de transmission de chaleur d'un local pour la ventilation naturelle est fonction de la longueur des joints, c'est-à-dire du joint entre le mur et la fenêtre et de la rainure entre les parties fixes et ouvrantes de la fenêtre.

Les questions relatives à la production combinée de chaleur et d'électricité ont été étudiées par une commission spéciale dans les années qui ont suivi 1940. D'après les recherches de la commission, l'exploitation profitable d'une usine combinée exige une puissance

thermique de  $40-50 \times 10^6$  kcal/h; une pareille exploitation n'est donc réalisable que dans les villes importantes du Danemark. L'établissement le plus récent d'usines d'électricité a été décidé sur les bases recommandées par la commission et, dans la mesure du possible, les usines sont placées là où le nombre de consommateurs est suffisamment grand.

Depuis un certain temps, l'*Usine de Chauffage Urbain de Copenhague* a étudié les essais et les théories présentées à l'étranger pour en profiter dans le service quotidien. La question des pertes de chaleur dans les conduites enterrées calorifugées a été traitée par le Docteur ès sciences allemand O. KRISCHER, de Darmstadt, qui en 1936 a exposé une méthode destinée à la vérification du champ thermique dans la terre autour d'une conduite de ce genre, ainsi que de la valeur de la perte de chaleur globale. A la suite de délibérations qui ont eu lieu au siège des Usines de Chauffage Urbain on a réussi à transformer les profils carrés de caniveaux généralement employés en des profils circulaires, afin de permettre aussi dans ces caniveaux, l'usage des formules et des diagrammes du Docteur KRISCHER. Les résultats des calculs effectués sur cette base ont été comparés aux mesures sur des caniveaux exécutées autrefois à l'*Institut Technologique pour les Usines de Chauffage Urbain* et on a constaté un accord parfait entre la théorie et la pratique.

Une autre question intéressante pour les Usines de Chauffage Urbain consiste dans le calcul de la perte de pression dans les tuyauteries et sur la base d'essais exécutés à Berlin par M. l'Ingénieur ZIMMERMANN et

à Zurich par MM. BAUER et GALAVIC, respectivement professeur et docteur ès sciences, on a établi des diagrammes de calcul qui permettent une vérification rapide et suffisamment exacte dans la pratique de la perte de pression dans les conduites de vapeur et les conduites d'eau à des pressions et des températures différentes.

Sur la même base, une maison d'ingénieurs-conseils a établi des nomogrammes pour le calcul de tuyauterie d'eau, d'eau surchauffée et de vapeur à basse pression. Enfin, dans quelques cas on a constaté des corrosions extérieures dans des tuyauteries de chauffage enterrées, et des études plus détaillées ont démontré que celles-ci ont été provoquées par des courants électriques vagabonds dans la terre. Il résulte des études que les tuyauteries de chauffage ont une tension électrique positive et sont parcourues par le courant de retour du réseau des tramways et du réseau des câbles à courant continu aux usines d'électricité. Cela est en soi sans importance mais, dans le cas où une tuyauterie de chauffage, en raison de l'humidité, est en communication électrique avec la terre, les courants sont susceptibles de provoquer des corrosions violentes du fait de la dérivation par l'humidité à la terre. Comme suite à ces recherches, on a indiqué des moyens d'y remédier en appliquant aux tuyauteries de chauffage une tension de signe contraire, mais par crainte de détruire les autres tuyauteries enterrées l'idée n'a pas été mise à exécution. Les recherches ont donné lieu au remplacement des rouleaux de fer supportant les tuyauteries des canalisations, par des briques très cuites.

### L'évolution technique depuis 1940.

En ce qui concerne l'évolution technique, je tiens à indiquer que pour une revue d'ensemble, je mentionnerai dans ce qui suit plusieurs cas qui datent d'une époque antérieure à 1940.

#### Types d'installations de chauffage.

Le type ordinaire d'installations de chauffage d'immeubles d'habitation, de commerce ou d'administration, est au Danemark l'installation de chauffage par l'eau chaude, avec circulation naturelle, pour les petites installations, et avec une circulation assurée au moyen de pompes pour les installations plus importantes. Généralement on utilise une température maximum d'environ 90° de l'eau en amont et la chute de température est normalement de 15 à 20° C. A la température maximum correspond une température extérieure de — 15° C. On construit à peu près exclusivement des installations avec radiateurs branchés sur des colonnes verticales et les installations comportent généralement deux colonnes de distribution inférieure; parfois on ne trouve qu'une colonne verticale. Cette solution est surtout employée dans des immeubles avec quatre et cinq étages. Ces dernières années, les installations à deux colonnes avec distribution supérieure ne se rencontrent que dans des cas spéciaux.

On a installé autrefois beaucoup de dispositifs à vapeur à basse pression, également pour des immeubles d'habitation, mais ils ont été remplacés successivement par des installations à eau chaude qui permettent un réglage central suivant les conditions météorologiques, ce qui assure la marche la plus économique.

Pendant la dernière guerre, alors qu'on était réduit au chauffage par la tourbe et le lignite dont la teneur en eau est considérable, il a fallu — sans égard aux conditions météorologiques — faire marcher les chaudières à une température d'eau assez élevée, afin d'éviter la formation d'eau de condensation et les corrosions qui en résultent dans les carnaux des chaudières. Aussi, beaucoup d'installations ont-elles été munies d'un dispositif de mélange spécial, commandé à la main ou automatiquement, qui permet de créer dans les radiateurs une température plus basse, adaptée aux conditions atmosphériques en effectuant un mélange d'eau de retour dans le départ de la chaudière.

La préparation d'eau domestique chaude étant généralement alimentée par la même installation de chaudières que les radiateurs, il sera avantageux — également dans les conditions ordinaires — de pouvoir maintenir une température de chaudière qui réponde aux exigences de la préparation de l'eau chaude pour les besoins domestiques, tout en permettant de régler la température des radiateurs suivant les conditions météorologiques. Voilà pourquoi l'emploi des dispositifs de mélange, surtout de ceux qui comportent la commande automatique, est devenu de plus en plus fréquent après la guerre. Les figures 12 et 13 présentent pour ces installations un diagramme en deux variantes, soit avec soupape thermostatique et organe de contrôle dans l'eau mélangée, et incorporé dans le collecteur de départ de la chaudière, soit avec une soupape à deux sièges également commandée par thermostat et capable d'ouvrir ou fermer plus ou moins le mélange de l'eau de retour dans le tube de départ de la chaudière en même temps qu'elle ferme et ouvre l'eau de départ de la même chaudière. L'instal-

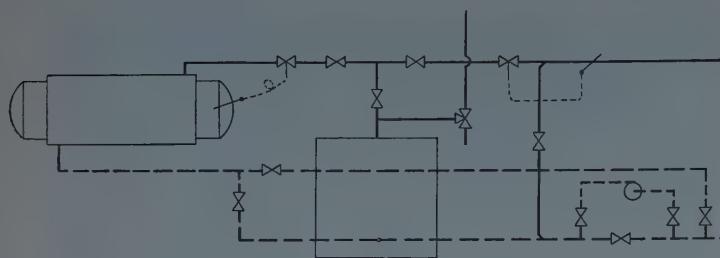


FIG. 12. — Chauffage central avec dispositif de mélange des eaux de départ et des eaux de retour.

Soupape thermostatique sur le départ de la chaudière. Dispositif pour l'eau chaude domestique, avec réservoir à double enveloppe pour le chauffage de l'eau.

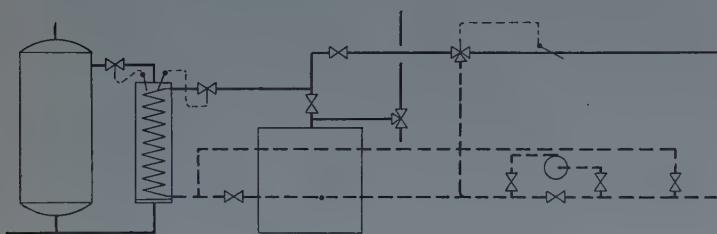


FIG. 13. — Chauffage central avec dispositif de mélange des eaux de départ et des eaux de retour.

Soupape de mélange thermostatique. Dispositif pour l'eau chaude domestique avec échangeur de chaleur et réservoir d'eau chaude indépendant.

lution de ces soupapes sur le départ peut créer des difficultés en ce qui concerne le raccordement des chaudières avec le réservoir d'expansion, mais en principe, on peut aussi bien placer les soupapes dans le collecteur de retour de la chaudière, disposition qui permet d'éviter ces difficultés.

Quand il s'agit d'installations d'une certaine importance on peut diviser l'installation de chauffage en plusieurs circuits déterminés d'après la nature des locaux à chauffer, chaque circuit doit être muni d'une soupape de mélange permettant par ce circuit un réglage indépendant de sa température, ce qui est d'importance par exemple dans le cas où l'installation comporte des radiateurs et un chauffage par rayonnement Crittall, le tout alimenté par la même chaudière.

Autrefois, les installations d'eau chaude domestique combinées avec des installations de chauffage central à l'eau chaude étaient conçues avec chauffage et accumulation de l'eau chaude dans des réservoirs à double enveloppe où l'eau de chaudière circulait dans la double enveloppe (fig. 12). Cette disposition n'était pas coûteuse, mais la marche n'en était pas satisfaisante car, en raison du mélange de l'eau chaude et de l'eau froide dans le réservoir, celui-ci ne pouvait pas être utilisé à fond quand il s'agissait de consommations qui dépassaient la capacité de chauffage.

Dans les installations récentes, le réservoir accumulateur et le dispositif de chauffage sont placés séparément et l'installation est munie de thermostats qui font en sorte qu'il ne soit admis dans le réservoir accumulateur que de l'eau à la température convenable. La figure 13 représente une installation de ce genre. On préfère un réservoir vertical qui réduit au minimum le mélange d'eau chaude et froide et permet une meilleure utilisation

du réservoir. Les installations employées fréquemment en d'autres pays comprennent un bac relié directement à la chaudière et le chauffage de l'eau à usages domestiques est assuré par des serpentins placés dans cet échangeur, l'eau chaude ainsi fournie dessert directement les appareils. Cette solution ne peut être employée au Danemark en raison des incrustations, car l'eau des usines de distribution d'eau est très dure, jusqu'à 20° de dureté (allemands).

L'emploi de radiateurs et de chaudières en tôle d'acier peut donner lieu à des corrosions dans les installations de chauffage à l'eau chaude. On prétend avoir remédié à ce défaut par diverses précautions, par exemple en employant de l'eau basique d'un pH de 9 à 10.

D'ailleurs, pour éviter les corrosions, on considère comme important que toute admission d'air dans le réservoir d'expansion de l'installation soit rendue impossible, entre autres choses en protégeant celui-ci contre la gelée au moyen d'un serpentin de chauffage incorporé au lieu d'une circulation directe. Il y a quelques années, on a breveté une méthode qui permet d'empêcher l'admission de l'air dans le réservoir d'expansion en recouvrant la surface libre de l'eau d'une couche d'huile.

Dans des cas spéciaux, on a employé dernièrement des réservoirs d'expansion sous pression.

Sur une petite échelle — dans des immeubles de commerce, etc. — on a exécuté des installations de chauffage par rayonnement, par exemple de système Crittall, mais elles ne sont pas fréquemment employées en partie parce que la hauteur d'étage des maisons modernes est assez réduite, en partie parce que le climat est très variable pendant l'hiver. Au cours des dernières années on a exécuté plusieurs installations avec chauffage par rayonnement d'après le système norvégien Frenger (fig. 14), qui est plus souple que le système Crittall.

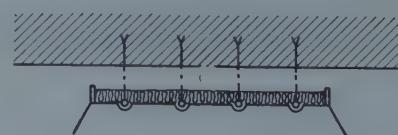
Des installations de chauffage à vapeur sous vide ont été employées dans quelques cas particuliers, mais il paraît difficile de les entretenir.

Dans les immeubles des types mentionnés on n'exécute que rarement des installations de ventilation ou de conditionnement d'air proprement dites; on réserve celles-ci pour une partie du bâtiment, par exemple les locaux de restaurant, les salles de réunion, les cinémas, les salles de théâtre, etc., mais rarement pour des chambres ordinaires.

Depuis quelques années, les systèmes de ventilation naturelle sans tirage mécanique ont gagné du terrain;



a) Pour des plafonds plans.



b) Pour des halls d'usine (Sunzrips).

FIG. 14. — Chauffage par rayonnement, système Frenger.

des soupapes d'aspiration spéciales sont montées derrière ou au-dessus des radiateurs placés sous les fenêtres pour que l'air soit chauffé par le radiateur avant d'être admis dans le local; les installations de ce genre sont construites avec des gaines d'aération qui sont normalement amenées au-dessus du toit du bâtiment et qui se terminent par un capuchon spécial permettant d'augmenter l'aspiration. Il existe divers types de ces aspirateurs. La rareté de l'application d'installations de ventilation et de conditionnement proprement dites est due en partie au fait qu'habituellement le climat ne les rend pas nécessaires et en partie au coût trop élevé de leur exploitation.

Dans des établissements industriels on emploie souvent des installations de chauffage à vapeur avec radiateurs — tubes à ailettes ou analogues dont la pression varie selon les conditions — les avantages en sont une protection plus efficace contre le risque de gelée et un chauffage rapide. Les inconvénients sont l'impossibilité du réglage, le bruit éventuel de l'installation et enfin la gêne due à la radiation de surfaces de chauffe dont la température dépasse 100°.

Pour éviter les inconvénients de l'installation à vapeur tout en conservant les avantages, on a employé récemment en plusieurs endroits des installations de chauffage à air chaud ou avec chauffage central à air chaud et distribution au moyen de ventilateur par un système de canalisation ou avec des dispositifs dont la surface de chauffe et le ventilateur sont placés à des endroits appropriés dans les locaux, afin de permettre l'insufflation directe de l'air. Les deux types sont combinés avec une répartition convenable entre la recirculation et l'aspiration d'air frais.

Ces installations permettent aussi une épuration éventuelle de l'air et un réglage de l'humidité et elles sont très employées dans des industries où l'état de l'air joue un rôle pour la fabrication, les industries des textiles et des tabacs par exemple.

Dans des entreprises où l'on ne peut tolérer le mouvement d'air inévitable des installations à radiateurs ou à air chaud du fait de la présence de poussière ou analogues, on emploie maintenant des installations de chauffage par rayonnement en divers systèmes. Dans des salles d'usines hautes de plafond une température élevée des surfaces de rayonnement sera avantageuse.

Dans certaines installations on emploie de l'eau à haute pression dont la température peut atteindre 180° comme véhicule de chaleur, par exemple dans les nouveaux bâtiments d'administration, de hangar et d'atelier du port aérien de Kastrup, près de Copenhague.

Dans le domaine de la ventilation des navires, une firme danoise opère depuis ces dernières années avec des installations de ventilation à haute pression. Cela exige des dispositifs spéciaux pour l'insufflation de l'air, mais l'application de la haute pression et, par ce fait, la possibilité de vitesses considérables dans les gaines permet une réduction de la section de celles-ci à un dixième des sections normalement employées, détail qui, surtout à bord des navires, peut jouer un rôle important.

#### Types de chaudières.

Comme initialement chaque installation de chauffage fonctionne avec ses propres chaudières qui alimentent l'installation en question, sauf les installations d'usines où le chauffage est fourni le plus souvent par l'installation

de chaudières à vapeur à pression haute ou basse nécessaires pour la fabrication, les chaudières pour le chauffage central à l'eau chaude étaient autrefois presque toujours des chaudières à magasin, chauffées au coke ou, pour des installations plus importantes, au charbon. Avant la guerre ces deux combustibles étaient les moins coûteux et les plus fréquemment utilisés, tandis que l'huile était plus chère, et par conséquent moins répandue.

Après la construction des chaudières spéciales à alimentation mécanique (Stoker) destinées au chauffage au charbon et au coke de qualités inférieures, celles-ci ont remplacé les chaudières à magasin quand il s'agit d'installations d'une certaine importance. Les alimenteurs mécaniques employés sont tous munis de vis hélicoïdales transportées pour amener le combustible, et l'admission de l'air comburant par soufflante se fait normalement par la couche de combustible, ce qui entraîne l'utilisation exclusive de charbon maigre, mais dernièrement on a présenté un type d'alimenteur mécanique avec admission de l'air au-dessus de la couche de combustible et qui est spécialement adapté au charbon gras d'une petite grosseur de grain, c'est-à-dire du charbon inutilisable pour le chauffage ordinaire.

Les chaudières anciennes étaient presque toujours des chaudières à éléments en fonte, tandis que les types récents sont des chaudières en tôle soudée. La figure 15 représente une chaudière à magasin et la figure 16 des alimenteurs mécaniques ordinaires. La figure 17 présente un alimenteur mécanique avec admission de l'air au-dessus du foyer. On peut exécuter ces nouveaux types de chaudières en unités plus grandes, des usines danoises ont construit des chaudières de  $10 \times 10^6$  kcal/h par unité, les dimensions extérieures de la chaudière étant de  $4 \times 4 \times 4$  m et la puissance calorifique unitaire étant de l'ordre de 25 000 kcal/h/m<sup>2</sup> de surface de chauffe, le rendement calorifique étant d'environ 85 %. On a d'ailleurs après la guerre créé des types de chaudières pour chauffage au gaz, mais comme le prix du gaz est relativement élevé, ce mode de chauffage ne s'est pas répandu.

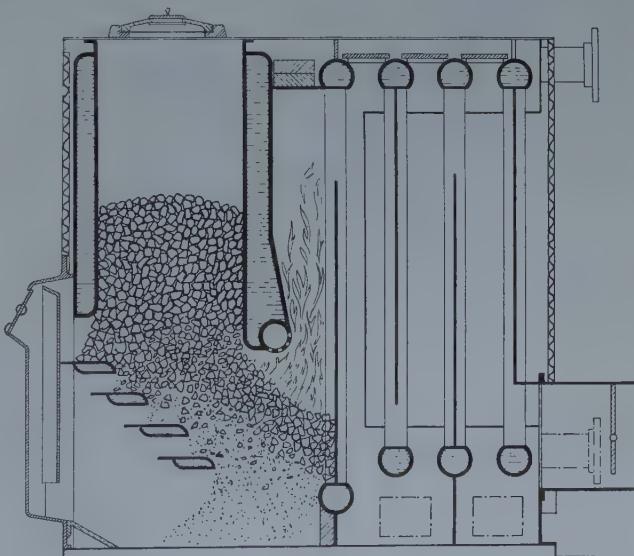
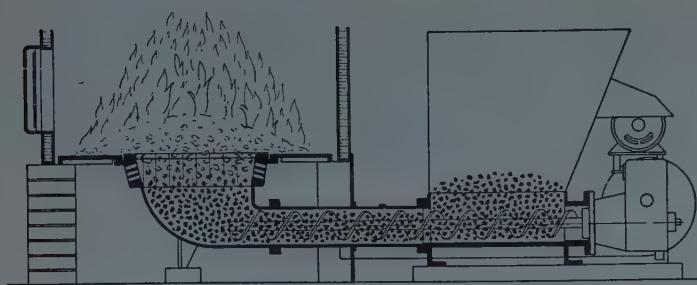
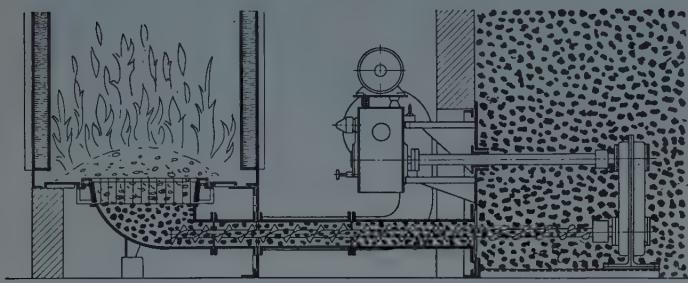


FIG. 15. — Chaudière à magasin en tôle d'acier soudée.



a) Stoker avec magasin de combustible.



b) Stoker prenant le combustible directement dans la cave.

FIG. 16. — Foyers mécaniques ordinaires (Stokers) avec soufflage par ventilateur au travers du combustible.

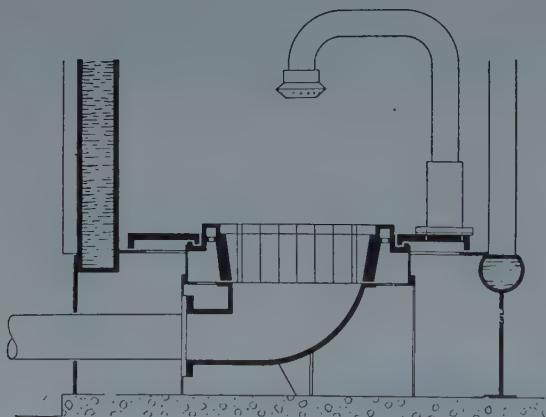


FIG. 17. — Foyer mécanique avec soufflage par ventilateur au-dessus du combustible.

Par suite de l'évolution des prix du combustible au Danemark après la guerre, l'huile — surtout les huiles combustibles lourdes — a été moins chère que le charbon et le coke, ce qui a naturellement accru l'intérêt du chauffage à l'huile dans des installations d'importances diverses et comme l'interdiction d'installation du chauffage à l'huile, promulguée au début de la guerre, a été levée dans l'été de 1952, on a construit dernièrement beaucoup de foyers à l'huile. Il s'agit de foyers aussi bien de fabrication danoise que de fabrication étrangère. La

plupart sont des foyers entièrement automatiques à pulvérisation sous pression, adaptés au gaz-oil dans les installations peu importantes et au fuel-oil plus ou moins lourd dans les installations importantes. Dernièrement, on s'est rendu compte des risques de corrosions de chaudières dues à l'emploi des huiles lourdes par suite de leur teneur en soufre et en vanadium, et ce fait, conjointement avec la baisse du prix du charbon, sera peut-être susceptible de freiner le développement du chauffage à huile, car le chauffage au charbon n'est pas loin d'être moins coûteux que le chauffage à huile.

#### Centrales pour blocs de maisons.

Dans ces dernières années, les grandes sociétés d'habitation ont construit des centrales de chauffage destinées à l'alimentation d'unités de plus en plus importantes, alors qu'autrefois il était courant de construire plusieurs installations de chauffage central dans un bloc de maisons, de sorte qu'une installation de  $0,5 \times 10^6$  kcal/h était considérée comme une installation importante; il existe aujourd'hui plusieurs installations de  $2 à 5 \times 10^6$  kcal/h, il y a même une centrale de  $18 \times 10^6$  kcal/h.

Ces installations assurent le chauffage, soit des ensembles de blocs de maisons de la Cité, soit des agglomérations de blocs de maisons isolées de la périphérie, composées de maisons basses de deux à trois étages (maisons situées dans des parcs) ou de maisons très hautes de six à onze étages.

Les centrales importantes permettent un entretien plus efficace, de même qu'elles sont plus économiques que plusieurs installations plus petites et, malgré les pertes dans les canalisations de distribution, le résultat sera meilleur; en outre, un choix judicieux des types de chaudières permettra une réduction des frais entraînés par l'adoption d'un autre genre de combustible dans le cas où les prix varieraient.

#### Centrales de chauffage pour villas.

Dernièrement les propriétaires de petites maisons ou de pavillons situés dans des villes peu importantes ou bien dans les quartiers de villas des grandes villes, se sont réunis dans le but d'assurer le chauffage par une installation commune de chaudières; on a construit plusieurs de ces installations de  $1 \times 10^6$  kcal/h jusqu'à  $5 à 6 \times 10^6$  kcal/h.

Comme avec une consommation horaire maximum de 20 à 30 000 kcal/h, les maisons particulières ne pouvaient chauffer qu'au coke, tandis que l'installation commune peut utiliser le charbon qui est moins cher, il devrait être possible, grâce à la meilleure économie de la grande installation, de couvrir les frais de distribution et les pertes relativement élevées, de telle sorte que le chauffage ne serait pas plus coûteux pour le propriétaire particulier, ce qui est d'ailleurs en accord avec les études réalisées par une commission constituée par la Société des Ingénieurs Civils Danois.

Les frais de construction pour chaque propriétaire pour la conversion en centrale commune de chauffage sont équivalents en général à ceux de l'installation d'un foyer à huile, mais, comme les dépenses de fonctionnement d'un foyer à huile seront probablement moindres que celles qu'entraîne le chauffage d'une centrale commune, la levée d'interdiction du chauffage à l'huile mettra sans doute un frein au développement futur des centrales communes. Ces centrales sont généralement organisées comme des sociétés coopératives et tous les consommateurs sont des coopérateurs à responsabilité solidaire.

### Chauffage par l'électricité.

Nous devons enfin mentionner le chauffage par l'électricité. Comme au Danemark toute l'électricité est produite avec du charbon, le prix en est si élevé qu'en général le chauffage électrique ne pourra pas concurrencer les autres formes de chauffage, mais dans ces dernières années l'emploi de radiateurs électriques transportables pour le chauffage de chambres particulières dans les demi-saisons a tellement augmenté que les usines d'électricité ont pu constater l'augmentation de la consommation.

On a récemment construit plusieurs maisons d'essais isolées de manière à réduire la perte de chaleur et en même temps d'une construction légère assurant une capacité thermique très faible. Selon les résultats des essais, il sera plus économique de chauffer une telle maison par l'électricité, tout autre chauffage étant impuissant à suivre les fluctuations des exigences de chaleur par suite de l'inertie de l'installation.

### Chauffage urbain.

Depuis plusieurs années on pratique encore dans les villes danoises d'une certaine importance une forme de fourniture de chaleur aux installations de chauffage central de bâtiments : le chauffage urbain. La première installation danoise — Frederiksberg — a été mise en service en 1903, mais ce n'est que vers 1925-1930 que l'évolution s'est accentuée. Grâce à la propreté, à l'encombrement réduit, aux frais d'entretien peu élevés et aux possibilités favorables de réglage, cette forme de fourniture de chaleur est avantageuse dans des agglomérations et, en général, la chaleur pourra être fournie par une usine municipale ou concédée, à des prix susceptibles de concurrencer le prix de production dans une installation séparée et, dans le cas où la production de chaleur s'accompagne de la production d'électricité, on pourra espérer des économies considérables de combustibles; il suffit de se rappeler que, tandis qu'une usine d'électricité à condensation de type moderne ne transforme que 25 % de la puissance calorifique en électricité, une usine combinée est à même d'assurer un rendement qui peut atteindre 80 % de la puissance calorifique du combustible sous forme d'électricité et de chaleur à vendre.

Dans les usines danoises de chauffage urbain, la chaleur est produite sous forme d'eau chaude ou de vapeur. Les usines d'une certaine importance sont combinées avec des usines d'électricité ou des usines d'incinération d'ordures. La plupart des usines sont municipales.

A Copenhague et à Århus, et dans beaucoup d'autres villes moins importantes, il existe depuis plusieurs années une production combinée d'électricité et de chaleur, la vapeur des usines d'électricité étant entièrement ou partiellement utilisée dans des turbines à contre-pression avant d'être distribuée aux consommateurs à une pression plus basse, si elle n'est pas utilisée à l'usine au chauffage de l'eau destinée aux consommateurs.

Dans d'autres villes qui possèdent des usines locales d'électricité à moteurs Diesel de faible importance, on a utilisé les gaz d'échappement au chauffage de l'eau en circulation dans le circuit de chauffage urbain, et cette eau sert en même temps comme eau de refroidissement des moteurs pour que toute la chaleur disponible soit utilisée. Il faut que les installations de ce genre soient munies de chaudières à vapeur avec des échangeurs de chaleur ou bien de chaudières de chauffage central par l'eau chaude de dimensions convenables susceptibles de servir de réserve.

Du tableau d'ensemble des usines danoises de chauffage

urbain au 1<sup>er</sup> avril 1940 (tableau I), il ressort que cinq seulement des usines ont une puissance dépassant  $10 \times 10^6$  kcal/h et, en ce qui concerne la plupart d'entre elles, l'étendue du réseau est faible. A cette époque, Copenhague avait une puissance de  $93,6 \times 10^6$  kcal/h avec une longueur de tuyauterie de 21,5 km et un diamètre de la plus grande tuyauterie de 250 mm. Le nombre de consommateurs était de 149, tandis que l'installation à Århus qui était moins importante comportait un plus grand nombre de consommateurs. Pour la plupart des installations, la vente de la chaleur était de l'ordre de grandeur de 2 000 heures maximum. Il existait des installations dans douze villes.

On constate sur le tableau d'ensemble correspondant au 1<sup>er</sup> avril 1952 (tableau II) que le nombre d'usines est passé de 12 à 20, la plupart des usines nouvelles ne sont cependant que des usines de chauffage urbain plutôt de même caractère que les centrales de chaudières pour quartiers de villas déjà mentionnées.

En ce qui concerne Copenhague, la puissance au 1<sup>er</sup> avril 1952 était d'environ  $280 \times 10^6$  kcal/h avec une étendue du réseau de 53,7 km et un nombre de consommateurs de 671, le diamètre du plus grand tuyau était de 400 mm. Les autres installations sont toujours moins importantes que celle de Copenhague, mais dans plusieurs villes le nombre des consommateurs est plus grand. Par rapport à 1940 la vente de chaleur est relativement faible, pour Copenhague par exemple seulement environ 1 400 heures maximum. Il faut en chercher la cause en partie dans les prix relativement élevés du combustible, en partie dans le fait que pendant la guerre on a pris l'habitude d'économiser. Après la guerre la conversion en chauffage urbain a été stimulée du fait que beaucoup de chaudières avaient été détériorées par le chauffage à la tourbe et au lignite pendant la guerre.

La chaleur est fournie aux consommateurs, soit sous forme de vapeur jusqu'à  $25 \text{ kg/cm}^2$  correspondant à  $400^\circ \text{C}$ , soit sous forme d'eau chaude à une température de  $65^\circ$  à  $95^\circ$  suivant la saison.

Par exception, la vapeur est utilisée directement à l'alimentation d'installations d'usines ou d'installations de chauffage à vapeur basse pression, dans ces cas de préférence avec une installation d'échangeurs qui sert d'organe de transmission. Dans le cas où le consommateur a une installation de chauffage central à l'eau chaude, la vapeur est utilisée dans un échangeur de chaleur au chauffage de l'eau qui circule dans l'installation de chauffage central. En général, la vapeur passe par un détendeur pour compenser les variations de pression. La figure 18 présente un diagramme de raccordement pour des installations à l'eau chaude, alimentées par la vapeur.

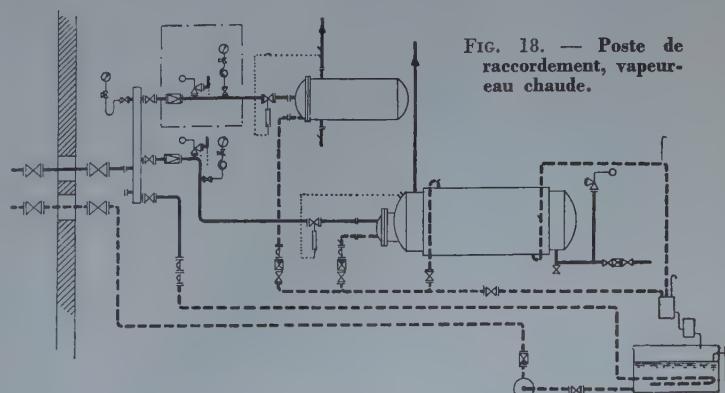


FIG. 18. — Poste de raccordement, vapeur-eau chaude.

Pour le chauffage de l'eau pour usages domestiques les usines élévatrices d'eau exigent que la pression de la vapeur soit réduite à moins de une atmosphère de surpression.

A Copenhague on a essayé dernièrement de supprimer le dispositif de détente, de sorte que la soupape thermostatique assure le réglage entier, disposition qui a donné satisfaction pour une pression de vapeur maximum jusqu'à 12 atmosphères, tandis que dans quelques cas particuliers il est survenu des difficultés à des pressions plus élevées avec l'emploi d'échangeurs de chaleur avec des tubes droits ou pliés en U.

Une entreprise d'installations vient de lancer un nouveau type d'échangeur de chaleur, l'eau circule de bas en haut dans un tube vertical où l'on a placé des tuyaux de cuivre en spirale par lesquels la vapeur passe du haut en bas. Tous les espaces morts sont remplis, de sorte

que l'eau traverse les tubes à grande vitesse, ce qui permet une transmission de chaleur considérable. L'échangeur de chaleur est alimenté par la vapeur à haute pression et le thermostat de réglage proprement dit est monté sur le tuyau de départ de l'eau condensée. Comme dispositif de sécurité en cas de rupture de la surface de chauffe on a monté sur le tuyau de vapeur une soupape thermostatique spéciale réglée pour se fermer à environ 95° C. Les expériences sont favorables, même à une pression de vapeur de 25 atmosphères et l'encombrement est faible en comparaison des types plus anciens. La figure 19 donne une représentation schématique de l'échangeur de chaleur, tandis que la figure 20 indique des diagrammes d'essais relatifs à la puissance thermique par rapport à la pression de la vapeur. La puissance en est essentiellement plus grande que dans les types connus jusqu'ici. Dans l'application de ce type d'échangeur de chaleur le chauffage de l'eau pour usages domestiques se

TABLEAU I. — LES USINES DE CHAUFFAGE URBAIN DANOISES, 1-4-1940.

VILLE	PROPRIÉTAIRE de l'usine	LA CHALEUR est produite par	LA CHALEUR est livrée par	D AMÈTRE du tuyau le plus grand mm	LONGUEUR de la canalisation km	NOMBRE de clients	MAXIMUM de la chaleur raccordée kcal/h	VENTE de la chaleur annuelle kcal/an
Copenhague ...	La municipalité.	Vapeur.	Vapeur et eau chaude.	250	21,5	149	$93,6 \times 10^6$	$182,2 \times 10^9$
Frederiksberg...	—	—	—	150	6,2	21	$16,5 \times 10^6$	$53,7 \times 10^9$
Stige pr. Odense	Société privée.	—	Vapeur.	125	15,0	52	$18,5 \times 10^6$	?
Aarhus.....	La municipalité.	—	L'eau chaude.	300	11,3	239	$41,5 \times 10^6$	$72,4 \times 10^9$
Odense .....	Société privée. Vapeur de l'usine municipale.	—	—	250	2,9	53	$7,5 \times 10^6$	$15,4 \times 10^9$
Randers .....	La municipalité.	Vapeur et moteur diesel.	—	300	6,5	101	$15,8 \times 10^6$	$27,1 \times 10^9$
Esbjerg .....	—	Moteur diesel.	—	200	1,5	25	$3,1 \times 10^6$	$4,0 \times 10^9$
Rønne.....	—	—	—	150	0,6	15	$0,5 \times 10^6$	?
Slagelse. ....	—	Vapeur et moteur diesel.	—	200	0,8	35	$2,2 \times 10^6$	$4,4 \times 10^9$
Faaborg .....	—	Moteur diesel.	—	114	0,5	8	$0,8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^9$
Silkeborg.....	—	—	—	150	0,3	7	$0,5 \times 10^6$	?
Aalborg. ....	—	Vapeur.	—	90	0,09	1	?	$1,6 \times 10^9$
Svendborg ....	—	Moteur diesel.	—	175	0,30	5	$1,0 \times 10^6$	$2,1 \times 10^9$

TABLEAU II. — LES USINES DE CHAUFFAGE URBAIN DANOISES, 1-4-1952.

VILLE	PROPRIÉTAIRE de l'usine	LA CHALEUR est produite par	LA CHALEUR est livrée par	DIAMÈTRE du tuyau le plus grand mm	LONGUEUR de la canalisation km	NOMBRE de clients	MAXIMUM de la chaleur raccordée kcal/h	VENTE de la chaleur annuelle kcal/an
Copenhague ...	La municipalité.	Vapeur 12 à 25 à 48 atm.	L'eau chaude. Vapeur 8 à 12 à 25 atm.	400	53,7	671	280 × 10 <sup>6</sup>	393,8 × 10 <sup>9</sup>
Aarhus 1 ....	—	Vapeur 8 à 26 atm.	Vapeur 8 atm.	125	3,4	16	15,9 × 10 <sup>6</sup>	42,3 × 10 <sup>9</sup>
Aarhus 2 ....	La municipalité et l's Midtkraft.	Vapeur 26 à 80 atm.	L'eau chaude..	450	44,3	1 359	122,9 × 10 <sup>6</sup>	194,4 × 10 <sup>9</sup>
Randers .....	La municipalité.	Vapeur 25 atm.	—	400	24,0	762	53,6 × 10 <sup>6</sup>	94,7 × 10 <sup>9</sup>
Esbjerg .....	La municipalité et l's Vestkraft.	Vapeur 25 à 60 atm.	—	300	22,4	851	38,8 × 10 <sup>6</sup>	72,1 × 10 <sup>9</sup>
Frederiksberg...	La municipalité.	Vapeur 10 à 14 atm.	Vapeur 3,5 à 9 atm. L'eau chaude.	305	10,8	39	31,5 × 10 <sup>6</sup>	68,5 × 10 <sup>9</sup>
Odense .....	—	Vapeur 12 atm.	L'eau chaude.	400	9,7	486	39,6 × 10 <sup>6</sup>	67,8 × 10 <sup>9</sup>
Slagelse .....	—	Vapeur 25 atm.	—	200	2,8	103	7,2 × 10 <sup>6</sup>	9,2 × 10 <sup>9</sup>
Silkeborg.....	—	L'eau chaude moteur diesel.	—	160	0,8	13	?	?
Rønne.....	—	L'eau chaude	—	152	0,6	31	0,7 × 10 <sup>6</sup>	0,73 × 10 <sup>9</sup>
Faaborg .....	—	Moteur diesel.	—	114	0,5	8	0,8 × 10 <sup>6</sup>	1,6 × 10 <sup>9</sup>
Svendborg ....	—	L'eau chaude moteur diesel.	—	175	0,3	6	1,0 × 10 <sup>5</sup>	2,2 × 10 <sup>9</sup>
Herning.....	—	L'eau chaude.	—	325	2,6	129	7,0 × 10 <sup>6</sup>	12,6 × 10 <sup>9</sup>
Kolding.....	—	Vapeur 14 atm.	—	300	4,4	137	8,7 × 10 <sup>6</sup>	11,9 × 10 <sup>9</sup>
Brønderslev ...	—	L'eau chaude moteur diesel.	—	100	0,6	28	1,0 × 10 <sup>6</sup>	1,6 × 10 <sup>9</sup>
Kalundborg ...	—	—	—	125	0,6	10	?	?
Ikast.....	Société coopérative.	—	—	168	4,2	190	6,0 × 10 <sup>5</sup>	11,0 × 10 <sup>9</sup>
Grindsted.....	—	—	—	165	2,5	100	2,6 × 10 <sup>6</sup>	3,6 × 10 <sup>9</sup>
Gentofte.....	—	L'eau chaude.	—	120	4,0	70	1,3 × 10 <sup>6</sup>	?
Christiansholm..	—	—	—	?	?	?	?	?
Christian Win-thersvej.....	—	—	—	?	?	?	?	?

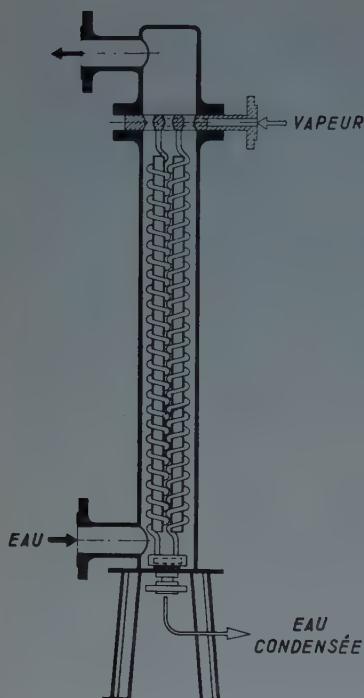


FIG. 19.

Échangeur de chaleur vapeur-eau chaude de construction spéciale.

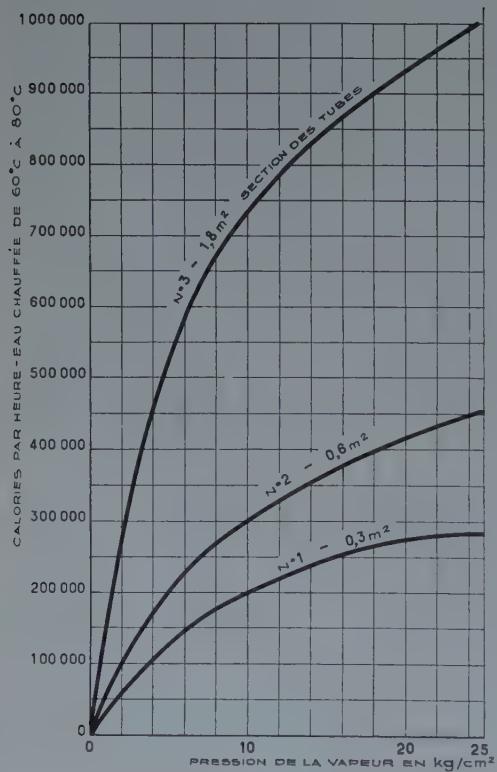


FIG. 20. — Puissance de l'échangeur de chaleur calorifugé mentionné à la figure 19.

fait directement sur le circuit d'eau chaude, mais dans ce cas on utilise une soupape mélangeuse dans le circuit des radiateurs ainsi qu'il est fait dans les installations comportant des chaudières. L'échangeur est breveté.

La mesure de la quantité de chaleur fournie se fait — en cas de fourniture sous forme de vapeur — par la mesure de l'eau condensée dans un compteur à tambour. Dans ce cas, on attache de l'importance à ce que la vapeur soit utilisée, dans la mesure du possible, dans la centrale de chauffage proprement dite, afin de faciliter le contrôle des fuites. L'eau condensée est retournée à la centrale par une pompe centrifuge automatique. Dans des cas exceptionnels où il est impossible de retourner l'eau condensée, on emploie un compteur à vapeur.

Les inconvénients de la fourniture de vapeur sont — en ce qui concerne le consommateur — les suivants : le poste de raccordement est relativement coûteux et demande un entretien minutieux; en ce qui concerne l'usine : ce n'est qu'à une pression de chaudière élevée qu'il est possible d'obtenir une production importante d'électricité par contre-pression quand il faut maintenir celle-ci de 8 à 12 atmosphères suivant la saison, l'installation dans les rues des tuyauteries principales est d'ailleurs contrariée par la nécessité de ménager l'expansion et la purge des canalisations de vapeur et, enfin, les purgeurs, etc., des tuyauteries principales exigent une visite minutieuse.

La fourniture de vapeur présente l'avantage que la mesure effectuée avec une grande exactitude par le compteur à tambour, malgré la charge, est facile et peu coûteuse, la seule incertitude consiste donc dans la fixation de la quantité de chaleur fournie par kilogramme d'eau condensée. Pour Copenhague, on l'évalue à 600 kcal/kg répondant à la teneur en chaleur moyenne de la vapeur et une température de l'eau condensée d'environ 50 à 60°C. Il est permis de refroidir l'eau condensée avant le compteur, étant donné que la chaleur est normalement utilisée au réchauffage de l'eau domestique, par exemple comme nous l'avons déjà montré sur la figure 18.

Si la fourniture de chaleur est réalisée sous forme d'eau chaude, le poste de raccordement pourra être exécuté comme l'indique la figure 21 et l'eau de l'usine

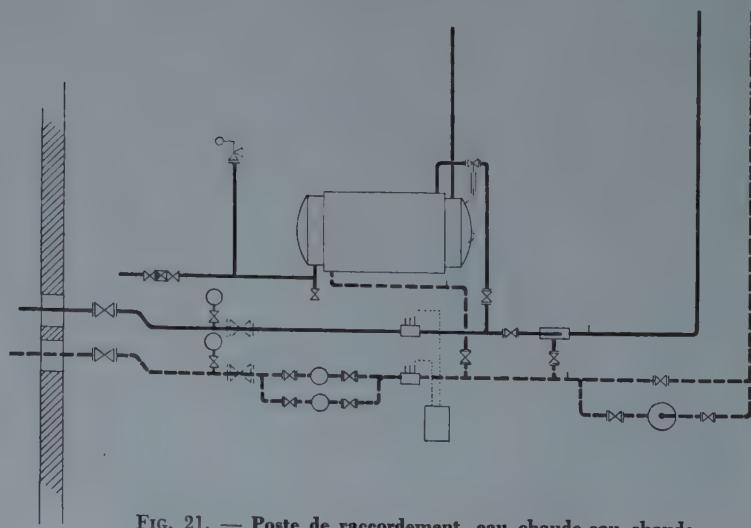


FIG. 21. — Poste de raccordement, eau chaude-eau chaude.

circulera directement dans l'installation du consommateur. Comme nous l'avons déjà dit au sujet des installations avec chaudières, il faut effectuer un mélange afin d'assurer aux radiateurs la température exigée par les conditions météorologiques. Cette forme de fourniture est avantageuse pour le consommateur parce que le poste de raccordement n'est pas coûteux, et pour l'usine parce que la vapeur pourra être utilisée à la production d'électricité à une pression de 1 à 2 atmosphères, et éventuellement, à une pression encore plus basse.

Les frais de service et d'entretien des tuyauteries et du poste de raccordement sont moins élevés que pour des installations à vapeur et l'installation des tuyauteries principales est plus facile parce qu'il n'y a pas à tenir compte de variations de température considérables et de la purge des installations à vapeur. La fourniture sous forme d'eau chaude présente l'inconvénient que la pression dans les conduites principales d'installations d'une certaine importance est si élevée qu'il faut prendre des précautions spéciales, par exemple l'incorporation de soupapes de détente à l'amont des branchements afin de protéger l'installation de radiateurs contre une pression trop élevée; de plus, la mesure satisfaisante de la quantité de chaleur livrée est difficile et problématique.

Les calorimètres des types connus jusqu'ici sont coûteux et leur fonctionnement n'est pas sûr, leur précision n'est pas satisfaisante quand il s'agit de faibles consommations. Il est possible de mesurer la quantité d'eau séparément — avec un compteur spécial en cas de consommation élevée et un autre compteur plus petit en cas de consommation plus faible — et de multiplier ensuite par la température moyenne pendant des périodes plus ou moins longues, mais cette méthode n'est correcte en principe que si la quantité d'eau ou la différence de température sont à peu près constantes pendant la période.

La différence moyenne de température pourra être fixée par exemple par l'enregistrement de la température dans les tubes en amont et en aval de l'installation de chauffage au moyen d'un thermographe double; la méthode permet de se rendre compte des conditions de marche, mais les frais d'acquisition et d'entretien d'un thermographe sont considérables, car le calcul de la température moyenne doit être effectué manuellement par décompte ou planimétrie. La méthode a été employée jusqu'à présent à Copenhague et l'on compte par période de dix jours.

Dans des installations peu importantes on a essayé de fixer la différence de température moyenne pour des périodes prolongées au moyen de compteurs de vaporisation du même type que ceux qui sont employés dans des installations de radiateurs, mais les relevés ainsi faits ne sont pas très exacts car on ne connaît pas la durée de mise en service des radiateurs au cours de la journée; ces compteurs n'ont pas donné des résultats satisfaisants.

La plupart des usines danoises de chauffage qui fournissent de la chaleur sous forme d'eau chaude se contentent de mesurer la quantité d'eau chez les consommateurs, tandis que la différence de température est mesurée seulement dans les canalisations principales de l'usine et cette valeur est admise pour tous les consommateurs branchés sur la même canalisation. On ne peut guère appeler cette méthode une mesure de calories, mais elle a pour résultat d'inciter les consommateurs à maintenir une différence de température aussi grande que possible et elle est donc avantageuse pour l'usine puisqu'elle entraîne une réduction de la quantité d'eau en circulation et de la température de retour.

Il vient de sortir sur le marché hollandais un calorimètre assez peu coûteux qui est actuellement à l'essai dans plusieurs usines danoises de chauffage. Nous ne connaissons pas encore les résultats de ces essais.

M. GEERTSEN, Ingénieur en Chef des Usines de Chauffage Urbain de Copenhague, vient de faire breveter un compteur de différence de température moyenne destiné aux installations de ce genre qui a été mis en fabrication en collaboration avec la maison « Dansk Siemens ».

Le compteur doit être employé conjointement avec un compteur à eau ordinaire et présente donc les mêmes possibilités de détermination de la quantité des calories que les systèmes employés jusqu'ici, mais il est beaucoup moins coûteux que le système à thermographe et, autant que nous pouvons en juger par les essais, il est bien meilleur que les compteurs à vaporisation. Il est basé sur le principe thermoélectrique, une garniture d'éléments thermoélectriques étant montée avec un point de soudure dans le tube en amont et l'autre dans le tube de retour, de manière à permettre à la force électromotrice produite comme à l'ordinaire dans un circuit thermoélectrique de faire marcher un compteur d'électricité électrolytique proportionnellement à la différence de température moyenne multipliée par le temps. Ce qui est nouveau, c'est l'incorporation simultanée d'un compteur horaire électrique actionné par le courant urbain et la fermeture et l'interruption du compteur horaire ainsi que du circuit thermoélectrique par l'ouverture et la fermeture d'un robinet principal monté dans le tube en amont de l'installation de chauffage; les interrupteurs sont reliés aux robinets de telle sorte que le fonctionnement en soit assuré avec une seule poignée.

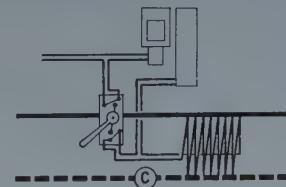


FIG. 22. — Plan schématique du compteur basé sur la différence moyenne des températures de l'eau de départ et de l'eau de retour dans un poste de chauffage. (Brevet de l'Ingénieur N. Chr. GEERTSEN.)

Le compteur, dont la figure 22 donne un plan schématique, a été essayé dans des installations, conjointement avec d'autres compteurs et il paraît être très utilisable,

#### Systèmes de canalisations.

Dans la plupart des installations danoises les tuyauteries de chauffage dans les rues sont placées dans des caniveaux de béton armé à section carrée, isolés au béton cellulaire. Dans des cas particuliers on emploie des matières calorifugées connues comme la laine de verre, le coton minéral, la magnésie, la terre diatomée, etc.; on a également essayé la vermiculite.

Si le terrain est particulièrement humide, on emploie une section de caniveau à double paroi avec drainage de l'espace entre la paroi intérieure et la paroi extérieure du caniveau (fig. 23). Là où l'humidité du terrain est particulièrement agressive on a essayé l'application de béton avec des matières additionnelles bitumées; on n'a pas encore d'expérience pratique à ce sujet. Si le terrain est

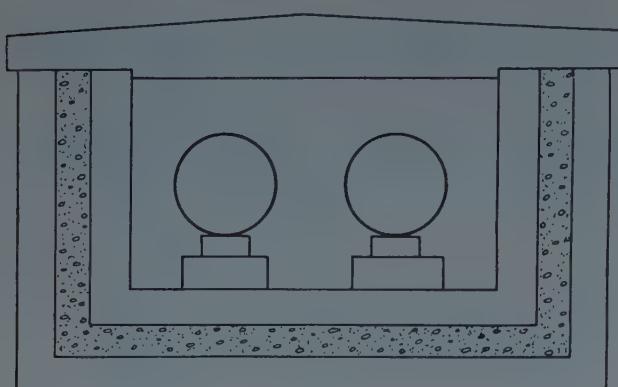


FIG. 23. — Section d'un caniveau avec double fond et doubles côtés, drainage entre le caniveau extérieur et le caniveau intérieur.

très mauvais, il faut baftrer des pieux avant d'installer les caniveaux.

En plusieurs endroits on a essayé d'accélérer les travaux en employant des éléments de caniveau moulés d'avance au lieu d'un caniveau moulé sur place. A Odense on a, par exemple, utilisé la section représentée sur la figure 24 et à Copenhague on fait, pour le moment, des essais avec la section représentée sur la figure 25 avec fond moulé sur place et partie supérieure en éléments en deux moitiés. A Odense le béton cellulaire est coulé par des trous réservés dans le haut de la partie supérieure et à Copenhague par la fente longitudinale ménagée dans le dessus, obturée ensuite par du mortier de ciment à durcissement rapide.

Si l'on doit passer au-dessous d'un remblai de chemin de fer comportant beaucoup de rails on emploie des tubes de béton armé moulés d'avance d'un diamètre intérieur

de 180 cm, la longueur de chaque tube est de 175 cm (fig. 26), et on enfonce ces tubes à la pression hydraulique.

A Odense où une nouvelle usine d'électricité est en construction à une distance de 4 km de la ville, on a réalisé un essai intéressant en coulant un caniveau par

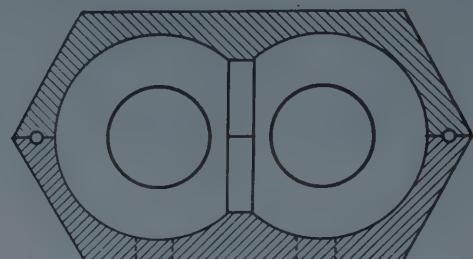


FIG. 24. — Section d'un caniveau à éléments, tant pour la partie inférieure que pour la partie supérieure.

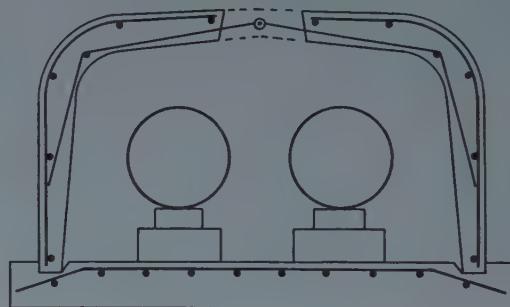


FIG. 25. — Section d'un caniveau avec la partie supérieure à éléments dans ses deux parties et avec un fond moulé sur place.

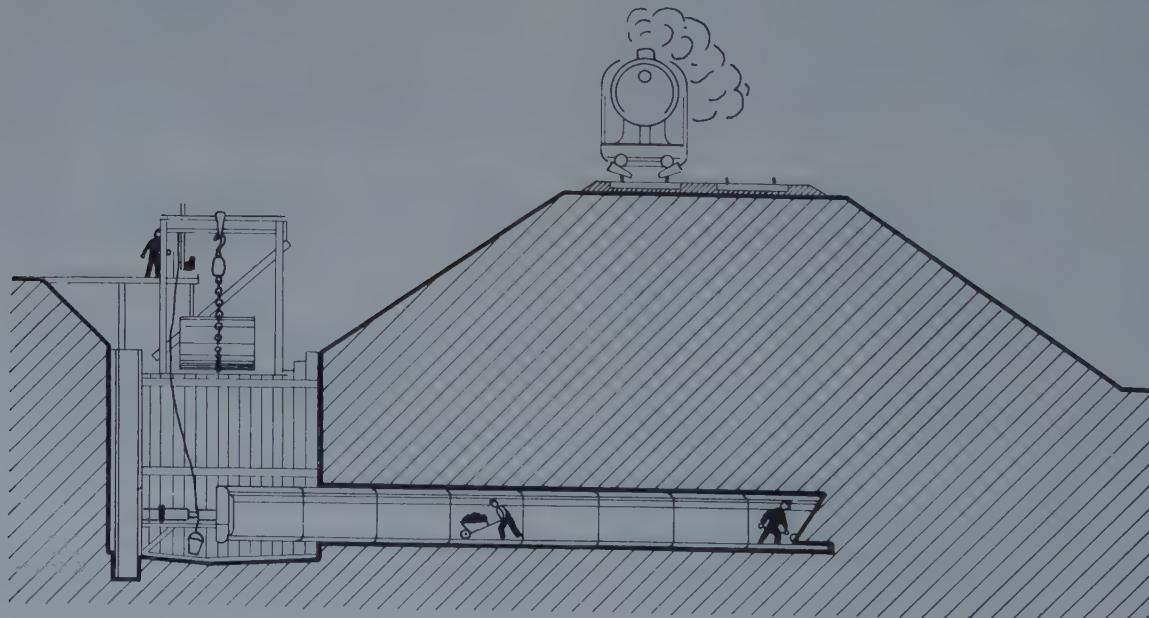


FIG. 26. — Dispositif d'avancement des éléments d'une galerie cylindrique au travers d'un remblai de chemin de fer.

coffrage mobile opérant par glissement. Une machine à mouler spéciale avance lentement le long du caniveau en entraînant le coffrage à mesure que la coulée et la prise se sont effectuées; le béton est vibré au moment de la coulée. On emploie une section identique à celle des caniveaux à éléments préfabriqués, la partie inférieure étant moulée d'abord. Le montage de la tuyauterie terminé, on monte un coffrage latéral destiné à la coulée du béton cellulaire, puis la machine coule la partie supérieure également par coffrage mobile opérant par glissement. La méthode est pratique, mais elle ne peut pas être appliquée dans des rues à grand trafic avec des croisements d'autres canalisations, et la machine est coûteuse.

En vue d'accélérer les travaux on a employé, ces dernières années, à Copenhague et ailleurs, des excavateurs pour creuser les caniveaux de chauffage là où les conditions locales l'ont permis.

Les tuyauteries sont partout exécutées avec des tubes en acier sans soudure qui sont soudés entre eux; quand il s'agit de tuyaux de 250 mm de diamètre on emploie la soudure autogène; pour les tuyaux plus gros on utilise la soudure électrique.

On employait autrefois des brides à tous les endroits où la tuyauterie ne pouvait pas être retournée pendant la soudure; maintenant on n'applique les brides qu'à l'emplacement des soupapes, des éléments de dilatation, etc., placés dans des chambres accessibles dans les rues.

Autrefois ces chambres étaient exécutées en béton armé, mais comme on a constaté que l'humidité de la chambre pénétrait dans le béton en rouillant le fer, on emploie maintenant du béton non armé dans les parois, tandis que le béton armé du plafond est protégé par une couche de briques « moler » qui se place dessous.

#### COPENHAGUE

Comme nous l'avons déjà dit la plus grande usine du Danemark est celle de Copenhague qui est aussi importante que l'Usine de Chauffage Urbain de Paris, alors que le nombre d'habitants n'est que le cinquième de celui de Paris.

A Copenhague la chaleur est fournie à présent par trois centrales électriques municipales : l'usine de H. C. Ørsted, qui fournit de la vapeur vive à 25 atmosphères, l'usine de Gothersgade, dont la pression aux chaudières est de 48 atmosphères et qui comporte des turbines à contre-pression fournissant la vapeur à 8 à 12 atmosphères et l'eau à 65-90° sous une pression de 5 atmosphères, et Østre Værk, qui fournit la chaleur sous forme de vapeur vive à 12 atmosphères et d'eau à une température de 65-90°. Il existe d'ailleurs une usine à gaz municipale qui fournit de la vapeur à quelques consommateurs, et enfin une installation de chaudières d'une ancienne usine d'électricité de faible importance et une centrale appartenant à l'usine du service des eaux. Ces deux dernières installations servent de réserve.

Ces dernières années on n'a pu admettre qu'un nombre de consommateurs restreint, mais en automne 1953 on

compte mettre en service une usine combinée d'électricité et de chauffage. La pression aux chaudières sera de 125 atmosphères et on compte recevoir des turbines à 10 à 15 atmosphères la vapeur destinée au chauffage urbain par la vapeur, tandis que le reste de la vapeur, dans une turbine à basse pression, devra être utilisé à la production d'électricité pour servir finalement au chauffage de l'eau de chauffage urbain quand la pression aura été abaissée à 1 ou 2 atmosphères environ.

On prévoit la fourniture sous forme d'eau chaude dans les quartiers d'habitation proprement dits et sous forme de vapeur dans les quartiers qui comprennent aussi des consommateurs industriels. Pour l'industrie on garantit une pression de vapeur minimum de 4 atmosphères et, dans des cas particuliers où la situation le permet, de 8 atmosphères.

L'usine nouvelle permettra une extension du réseau de chauffage et on compte obtenir de cette usine une fourniture finale de chaleur d'environ  $180 \times 10^6$  kcal/h.

En même temps que la construction de cette usine on a commencé une reconstruction et un agrandissement de l'usine H. C. Ørsted qui doit être appropriée à des chaudières de 125 atmosphères et des turbines à contre-pression.

#### ÅRHUS

A Århus, il existe une ancienne usine avec des chaudières à 25 et 80 atmosphères, dans ce dernier cas avec des turbines à contre-pression, et on l'agrandit actuellement en faisant installer des chaudières de 140 atmosphères avec des turbines à contre-pression correspondant à une distribution de chaleur à distance de  $100 \times 10^6$  kcal/h en eau chaude au total. Il y a quelques années, l'installation de chaudières a été cédée à l'Association des usines d'électricité « Midtkraft » de sorte que la municipalité de Århus achète désormais la chaleur à cette société pour la distribuer ensuite entre les consommateurs.

#### ODENSE

A Odense, il existe une ancienne usine d'électricité dont la pression aux chaudières est de 12 atmosphères qui — partiellement en service à contre-pression — fournit de l'eau chaude aux consommateurs de chaleur à distance. Une nouvelle usine est en construction hors de la ville avec une pression aux chaudières de 80 atmosphères et service à contre-pression, également avec fourniture de chaleur sous forme d'eau chaude.

#### ESBJERG

Dans cette ville il existe des usines d'électricité appartenant à la municipalité et au consortium « Vestkraft » avec des installations de chaudières de 25 et 60 atmosphères fournissant de la chaleur à distance sous forme d'eau chaude en service à contre-pression.

#### CONCLUSION DU PRÉSIDENT

*Je remercie M. JACOBSEN de sa conférence. Il nous a beaucoup intéressés et nous avons appris beaucoup de choses sur le chauffage urbain au Danemark.*

# ÉVOLUTION DES RECHERCHES ET DES TECHNIQUES EN SUISSE DEPUIS 1940

Par M. J. KAMM.

## AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

M. KAMM, qui nous exposera l'évolution des techniques suisses depuis 1940, est à la fois ingénieur-conseil et industriel, ce qui le met à même de voir les différents aspects de la question du point de vue commercial.

Il a suivi les cours du regretté Professeur HÖTTINGER, de célébrité mondiale, au Polytechnikum de Zurich.

Tout en s'occupant de la maison Kamm et Cie, de Berne, fondée par son père, il publia, dans la Revue Suisse de Chauffage et Ventilation quelques études très intéressantes sur le rendement des radiateurs et le calcul des déperditions thermiques. D'ailleurs, d'après les renseignements qui m'ont été donnés, M. KAMM faisait, en 1925, à quinze ans, son premier calcul de déperdition, à un âge où la plupart d'entre nous ne se souciaient que très médiocrement de la thermique.

Aussi est-il particulièrement qualifié pour nous exposer la nouvelle méthode suisse de calcul des déperditions thermiques.

Je me permets de remercier M. GUÉRIN, Directeur adjoint de l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, ainsi que M. MISSENARD, Président du Comité Scientifique et Technique de l'*Industrie du Chauffage et de la Ventilation*, pour l'aimable invitation qu'ils m'ont faite de vous exposer l'état actuel de la technique suisse en chauffage. Je suis très heureux de me trouver parmi vous pour participer à ce congrès.

La technique de chauffage en Suisse n'est pas très différente de celle des autres pays. Comme combustible, on emploie le coke et, de plus en plus, le mazout. Le chauffage par radiateurs est le cas normal, le chauffage par rayonnement se rencontre aussi, mais beaucoup plus rarement. Presque toutes les installations modernes sont munies d'une pompe de circulation, même les chauffages les moins importants.

Sur un point nos installations diffèrent des vôtres. Vous verrez sur les figures suivantes quelques installations qui comportent des chaudières électriques. A première vue il semble étrange de produire de la chaleur par l'électricité. Il faut considérer que pratiquement toute l'énergie électrique est produite par nos forces hydrauliques. En été, alors que nous avons toujours un excédent de production d'énergie hydroélectrique — surtout la nuit — les usines cherchent à tout prix des consommateurs et elles favorisent les installations de chaudières électriques dans les usines, dans les hôpitaux, là où on a besoin de chaleur même en été.

Généralement ces installations de chaudières électriques sont complétées par des accumulateurs de chaleur pour utiliser l'énergie disponible de la nuit et pour égaliser la consommation journalière. Le prix de cette énergie est équivalent à celui du charbon ou du mazout.

En Suisse, on utilise dans les usines les chutes disponibles à différents étages avec ou sans accumulation (fig. 27).

La répartition de la production des différentes sources d'énergie est donnée figure 28.

Au point de vue de l'économie publique, l'idéal serait la production simultanée de chaleur et d'énergie par la même centrale (fig. 29). En été, la chaudière électrique est mise en service et fournit la chaleur nécessaire à la fabrication. En hiver, alors que l'énergie hydroélectrique est insuffisante, la chaudière à combustible solide ou liquide est mise en service pour alimenter le turbogénérateur. La vapeur d'échappement est utilisée pour le chauffage et la fabrication (fig. 30).

Mais le cas le plus généralement adopté dans l'industrie et les hôpitaux est celui des figures 31 et 32. On renonce à produire l'énergie pour se contenter d'une chaufferie simple. En



FIG. 27. — La Suisse avec ses fleuves, le Rhin, le Rhône, le Tessin, qui ont leurs sources à une altitude de 3 000 m et qui sortent de Suisse à une altitude de 200 à 300 m. Les petits carrés représentent les plus importantes usines hydroélectriques, à l'exception de celles destinées au chemin de fer.

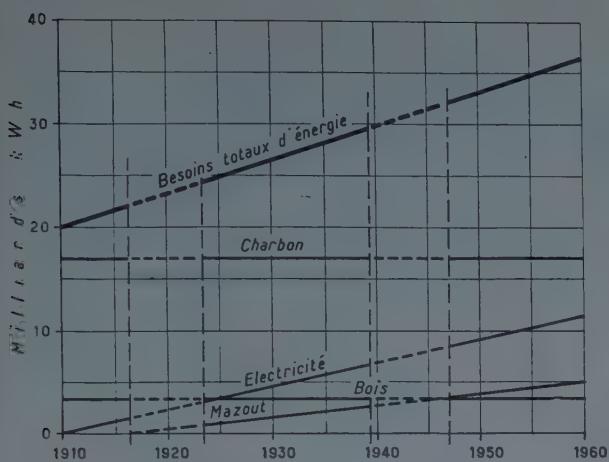
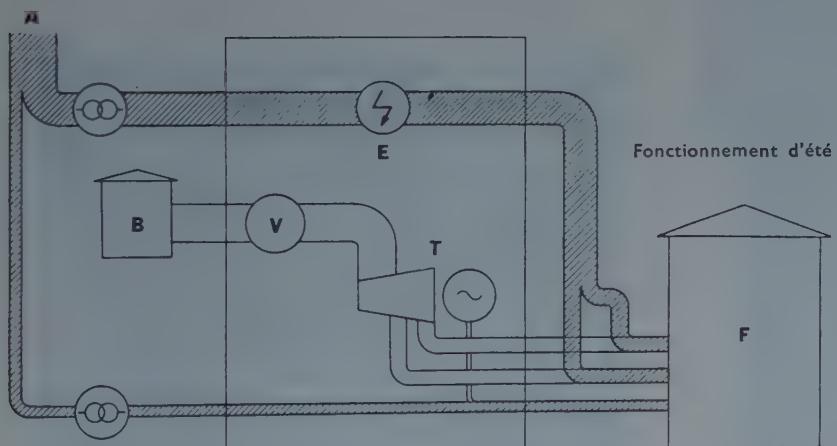


FIG. 28. — Consommation totale en milliards de kWh de l'énergie produite par le charbon, l'électricité, le mazout et le bois.



(Cliché Brown-Boveri.)

FIG. 30. — Vue d'ensemble de la centrale thermique.



- A. Énergie provenant du réseau général;
- B. Dépôt de combustible;
- E. Chaudières électriques  $2 \times 10\,000$  kW;
- F. Usine;
- T. Prise sur la turbine à compression de 1 890 kW;
- V. Chaudière Velox de 26 t/h.

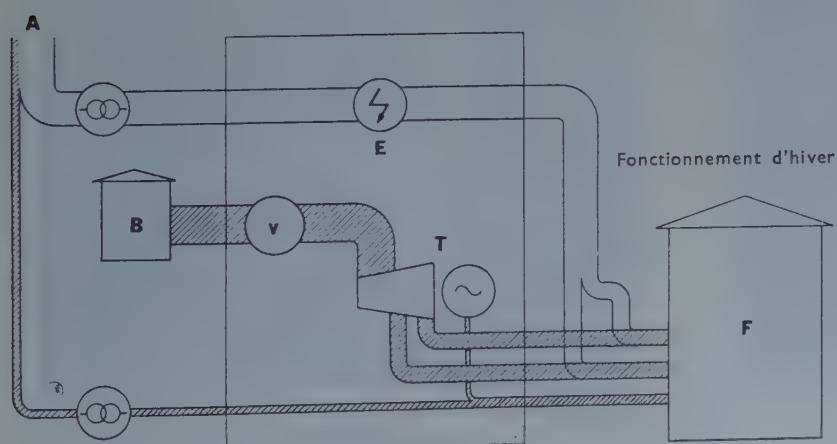
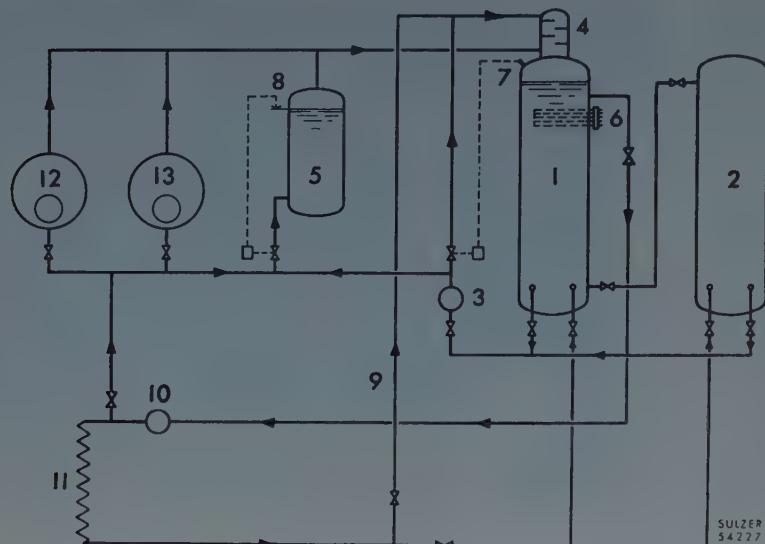


FIG. 29. — Centrale thermique industrielle.  
(Cliché Brown-Boveri.)



- 1, 2. Accumulateurs de chaleur;
- 3. Pompe de charge;
- 4. Échangeur à ruissellement;
- 5. Chaudière électrique;
- 6. Éléments de chauffe électriques;
- 7, 8. Réglage automatique;
- 9, 10, 11. Chauffage à eau surchauffée;
- 12, 13. Chaudières à combustible.

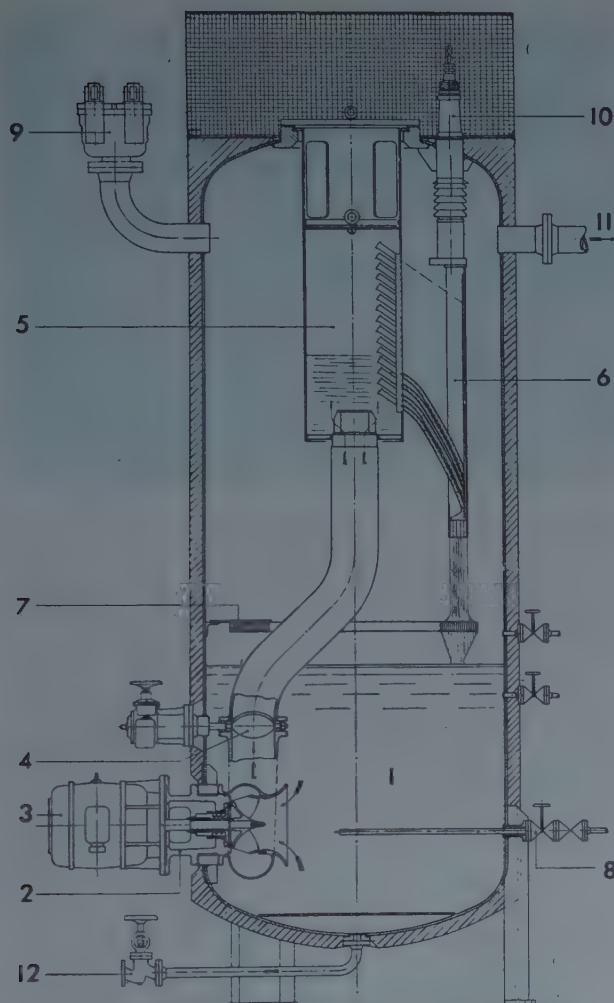
FIG. 31. — Centrale thermique industrielle sans production d'énergie.



FIG. 32. — Vue d'ensemble de la centrale thermique avec chaudière électrique et deux accumulateurs.



FIG. 33. — Chaudières électriques de 10 000 kW chacune, 6 000 V, 12 kg/cm<sup>2</sup>.



(Cliché Brown-Boveri.)

1. Chambre à eau;
2. Pompe de circulation;
3. Moteur;
4. Clapet d'étranglement pour réglage, avec commande;
5. Tuyau répartiteur (ou diviseur);
6. Électrode;
7. Contre-électrode;
8. Souape de l'eau d'alimentation;
9. Souape de sûreté;
10. Adduction de courant;
11. Sortie de la chaleur;
12. Souape de vidage.

FIG. 34. — Chaudière électrique.

été, la chaleur est produite par une chaudière électrique (fig. 33 et 34), si le prix de l'électricité est suffisamment avantageux, tandis qu'en hiver on utilise la chaudière à charbon ou à mazout. L'énergie électrique est fournie par le réseau électrique en hiver comme en été.

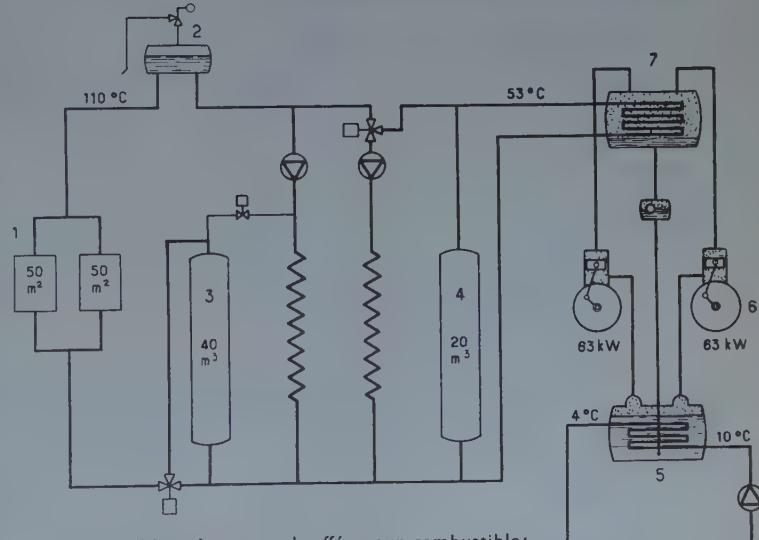
Pendant la deuxième guerre mondiale on a été obligé de rechercher et d'utiliser toutes les sources de chaleur possible, parce que l'on manquait de charbon et de mazout. C'est alors que l'on a utilisé assez souvent la pompe de chaleur.

Il est inutile que je vous explique le chauffage thermodynamique. M. BILLARDON a donné ici, il y a deux



(Cliché Sulzer.)

FIG. 35. — Pompe de chaleur.



1. Chaudières à eau surchauffée pour combustible;
2. Vase d'expansion;
- 3, 4. Accumulateur de chaleur;
5. Évaporateur
6. Compresseur } Pompe à chaleur.
7. Condensateur

FIG. 36. — Centrale thermique avec pompe de chaleur.

ans, un excellent exposé à ce sujet. Les figures 35 et 36 montrent :

1<sup>o</sup> Une centrale frigorifique avec une pompe de chaleur supplémentaire (fig. 35).

2<sup>o</sup> Une installation de chauffage dans une usine de mécanique (fig. 36).

Dans l'installation schématisée à la figure 36, il existait au début, deux chaudières pour alimenter les deux réseaux de fabrication et de chauffage. Quand on a agrandi l'usine, on a prélevé l'excédent de puissance nécessaire sur la chaufferie en ajoutant un accumulateur de chaleur. Plus tard, on a complété cette installation avec une pompe de chaleur. Comme source de chaleur on utilise l'eau souterraine à 10° C. Les deux compresseurs absorbent 63 kW chacun. Le coefficient de performance est approximativement de 4,5 et on extrait en-



FIG. 37. — Hôpital de Bâle.

(Cliché Sulzer.)



(Cliché Sulzer.)

FIG. 38. — Hôpital de Bâle, chauffage par rayonnement.

viron 500 000 kcal/h. La puissance nécessaire totale pour le chauffage est de 1 000 000 kcal/h. La pompe de chaleur suffit pendant la plus grande partie de l'hiver.

Le nouvel hôpital de Bâle a été construit en 1945 pour 1 000 lits (fig. 37). La puissance thermique nécessaire est d'environ 10 millions kcal/h et la consommation annuelle d'environ 19 milliards kcal. On a installé un chauffage par le plafond système Crittall, avec tubes enrobés dans le béton qui sert aussi pour la réfrigération en été (fig. 38).

La centrale thermique de l'hôpital (fig. 39) est reliée au chauffage urbain.

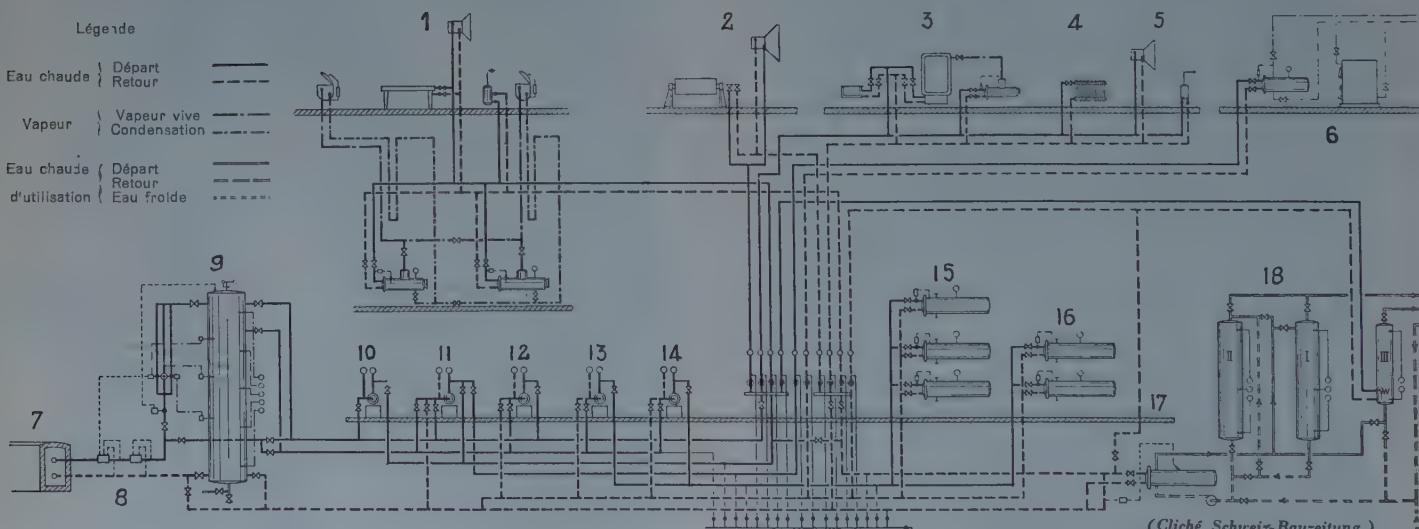


FIG. 39. — Centrale thermique de l'Hôpital de Bâle.

1. Cuisine;
2. Buanderie;
3. Stérilisation;
4. Chauffage d'été;
5. Aération;
6. Stations de transformateur pour bâtiments existants;

7. Chauffage à distance, conduites d'aller et de retour;
8. Compteurs de chaleur;
9. Accumulateur Schicht à couches superposées;
10. pompes pour l'industrie;
11. pompes pour la réserve;
12. Station de transformateur;
13. Chauffage des chambres;

14. Réserve;
15. Transformateur pour chauffage par rayonnement;
16. Transformateur pour chauffage par radiateurs;
17. Transformateur pour préparation de l'eau chaude;
18. Préparation de l'eau chaude.

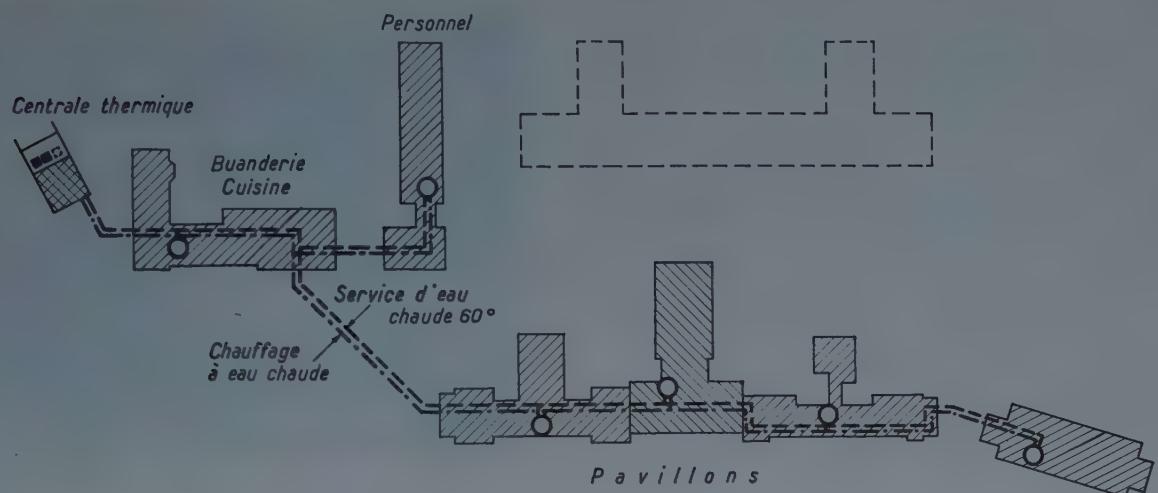


FIG. 40. — Hôpital de Berne, situation.

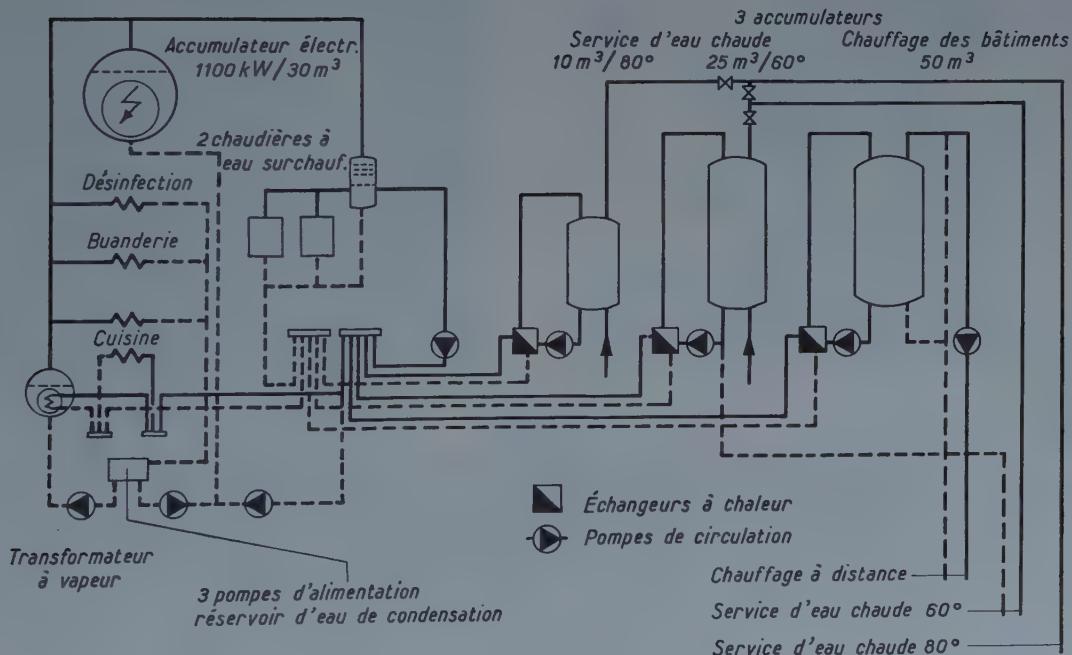


FIG. 41. — Hôpital de Berne, centrale thermique.

Dans l'hôpital de la ville de Berne (fig. 40), certains pavillons ont reçu un chauffage par rayonnement avec tubes enrobés. La puissance totale est de 1 600 000 kcal/h. Il existe 250 lits pour les malades et 100 lits pour le personnel. Dans la centrale thermique (fig. 41), il existe deux chaudières à eau surchauffée avec brûleurs à mazout, puis une chaudière électrique de 1 100 kW avec accumulateur de 30 m<sup>3</sup>, deux accumulateurs de 10 et 25 m<sup>3</sup> pour le service d'eau chaude et un accumulateur de 50 m<sup>3</sup> pour le chauffage des bâtiments.

Le sanatorium de Heiligen schwendi-sur-Thoune

(fig. 43) est situé à une altitude de 1 200 m. La centrale thermique possède deux chaudières à eau surchauffée de 40 m<sup>2</sup> chacune, un accumulateur de chaleur de 18 m<sup>3</sup> avec des éléments électriques de chauffage de 240 kW, un accumulateur de 22 m<sup>3</sup> pour le service d'eau chaude et un accumulateur de 50 m<sup>3</sup> pour le chauffage (fig. 44). Le chauffage à eau chaude est divisé en divers circuits avec réglage automatique d'après la température extérieure. La figure 45 présente une station de réglage de ce genre pour deux zones.

Les figures 46 à 52 montrent quelques réalisations suisses.

FIG. 42. — Hôpital de Berne, chaudières, accumulateurs, circulateurs.

(Clichés Sulzer.)

a) Les deux chaudières « de poche » Sulzer. On a tenu compte des agrandissements futurs de l'hôpital en réservant la place pour une troisième chaudière.

b) Les trois accumulateurs de chaleur pour la fourniture de l'eau chaude et le chauffage des salles.

c) Les pompes de charge et de circulation pour le réseau d'accumulation et de consommation.



FIG. 42 b.



FIG. 42 a.

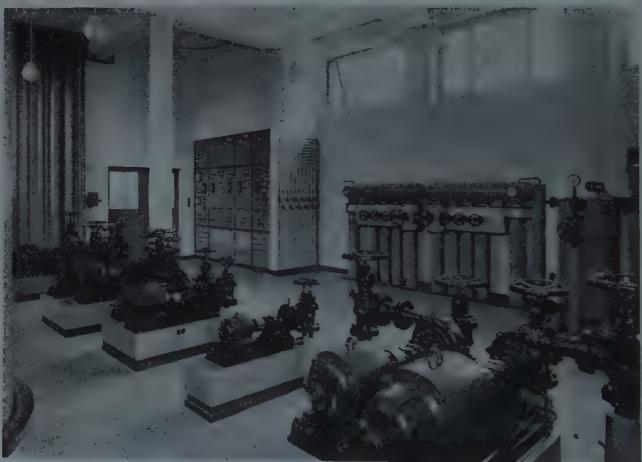


FIG. 42 c.



FIG. 43. — Sanatorium de Heiligenschwendi.

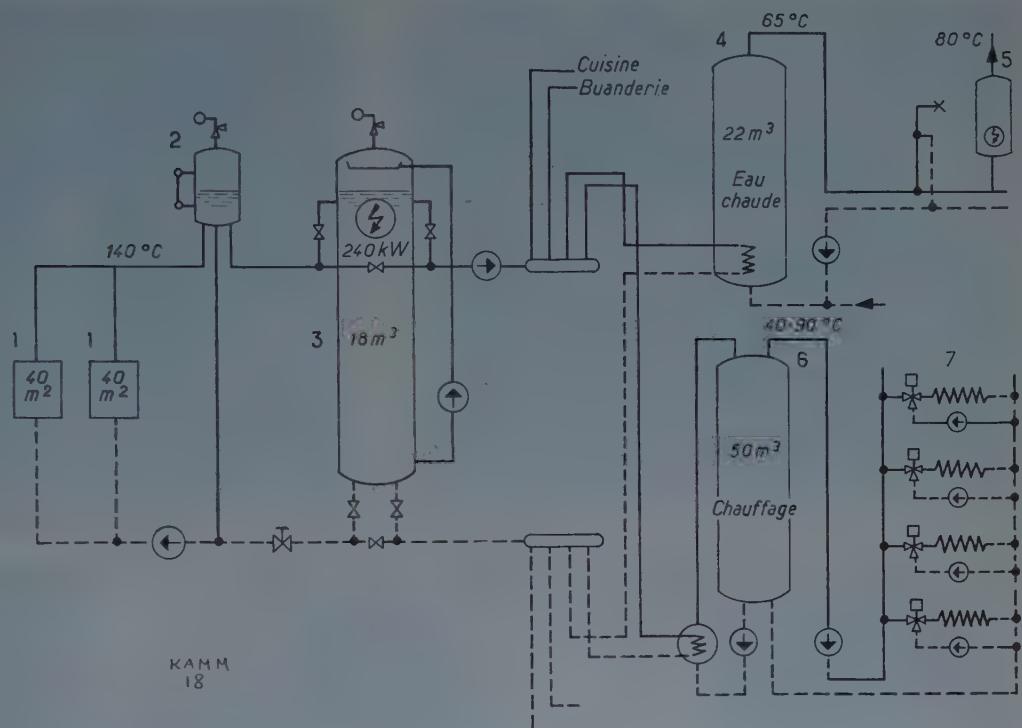


FIG. 44. — Centrale thermique du sanatorium de Heiligenschwendi.

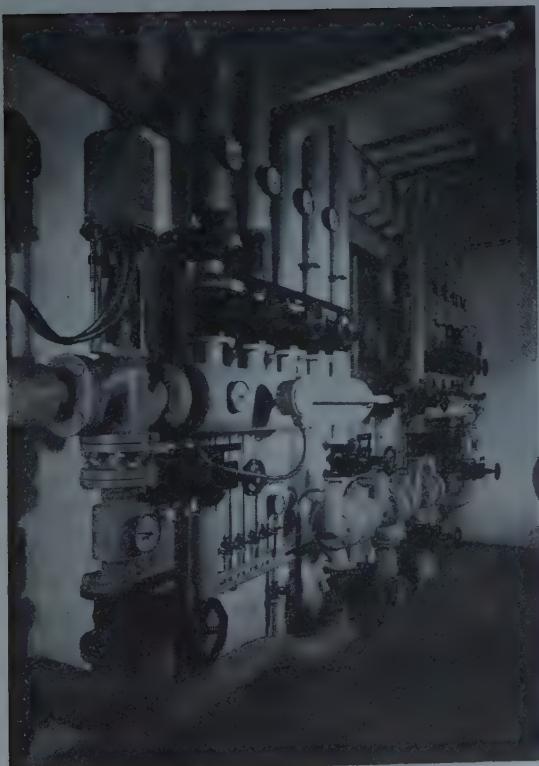
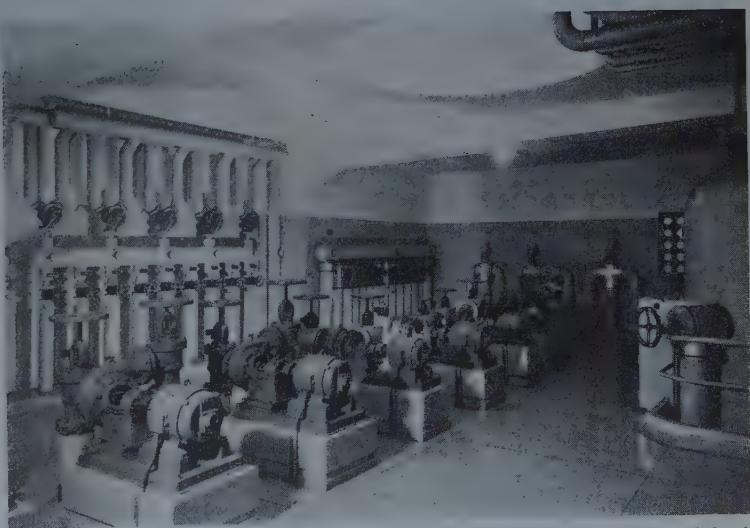


FIG. 45. — Station de réglage du sanatorium de Heiligenschwendi.



(Cliché Sulzer.)

FIG. 46. — Centrale du sanatorium de Montana-sur-Sierre.

*A remarquer les pompes, le distributeur pour les diverses zones de chauffage, le distributeur pour l'eau surchauffée. A droite, l'accumulateur à eau surchauffée avec les éléments électriques de chauffe.*



FIG. 47.



FIG. 48.

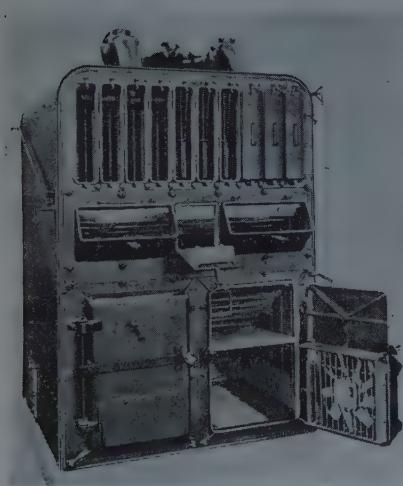


FIG. 49.



FIG. 50.



FIG. 51.

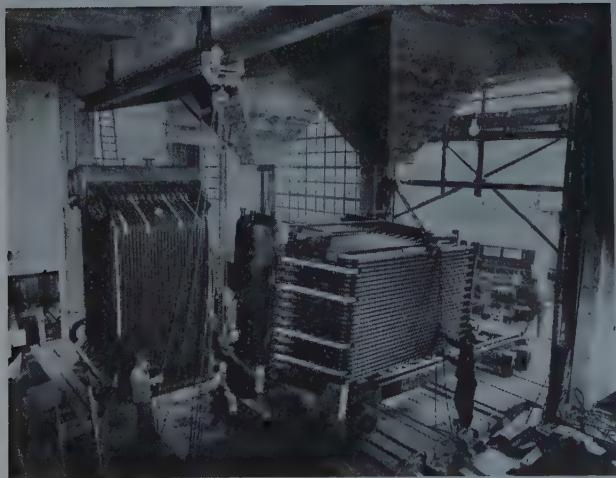


FIG. 52.

Chaudières pour eau surchauffée avec chaudières « de poche » en tôle :

FIG. 47. — Chaufferie de l'aéroport de Zurich.

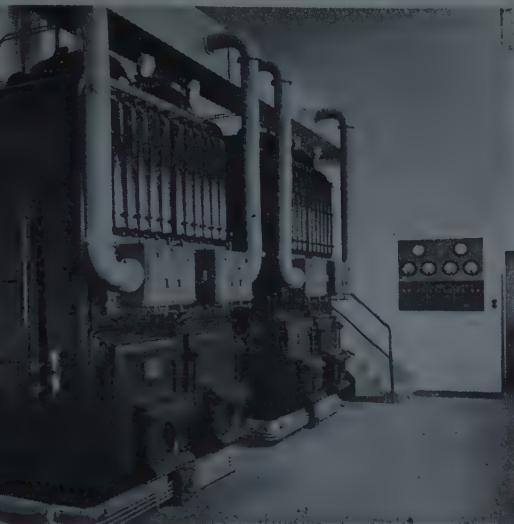
FIG. 48. — Chaufferie d'une fabrique.

FIG. 49. — Chaudière en tôle.

(Cliché Sulzer.)

FIG. 50, 51 et 52. — Chaudières aquatubulaires d'une puissance de 2 500 000 kcal/h destinées au nouvel hôpital de Winterthur, actuellement en cours de construction.

(Clichés Sulzer.)



(Cliché Oerlii.)

FIG. 53. — Chauffage au mazout.



(Cliché Klus.)

FIG. 54. — Chauffage au mazout.

On emploie de plus en plus le mazout, soit pour les grandes installations, soit pour les plus petits chauffages (fig. 53 et 54).

Ainsi qu'il a été dit en commençant, presque tous les nouveaux chauffages à eau chaude — même les plus petits — sont munis de circulateurs (fig. 55 et 56).

En Suisse, la maison Sulzer avait développé le chauffage par rayonnement avec tubes enrobés (fig. 57). En collaboration avec le Laboratoire Fédéral d'essai des

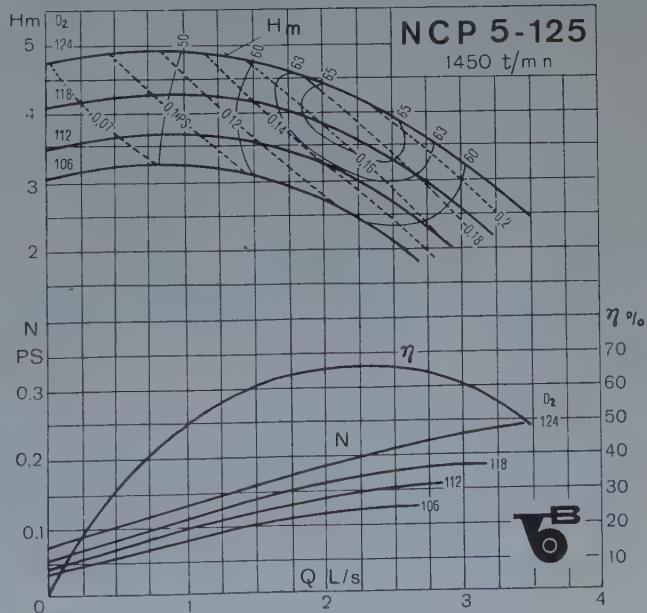
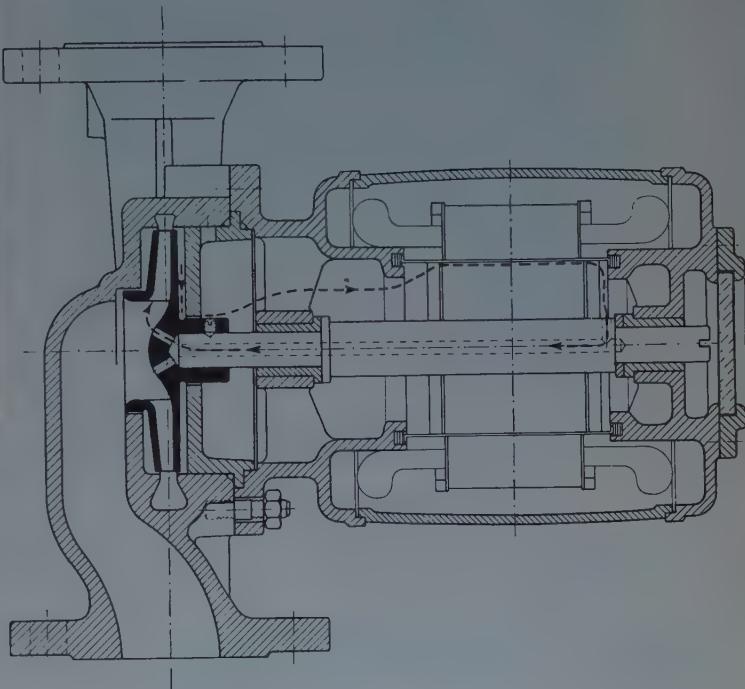


FIG. 55. — Circulateurs sans presse-étoupe avec lubrification par l'eau.

(Clichés Brugg.)

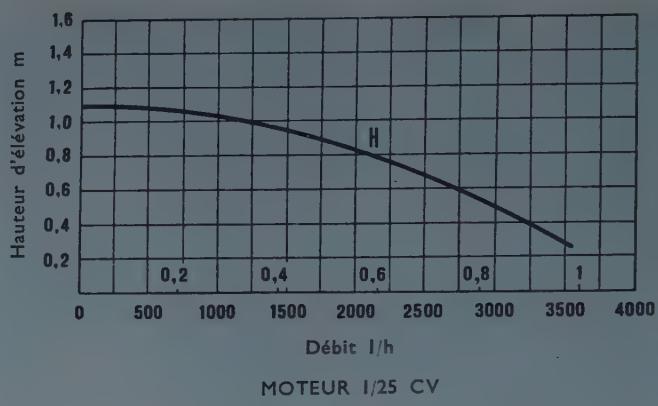
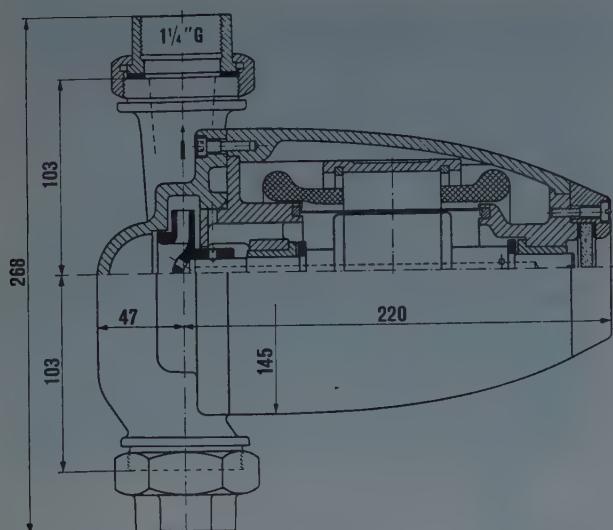


FIG. 56. — Circulateurs sans presse-étoupe avec lubrification par l'eau.

(Clichés Brugg.)

#### PLANCHER INTERMÉDIAIRE

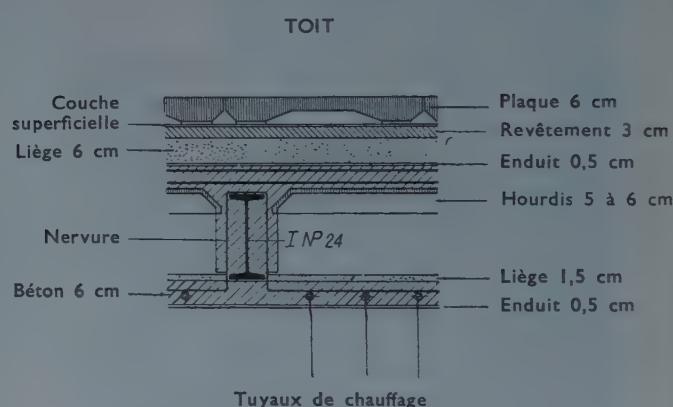
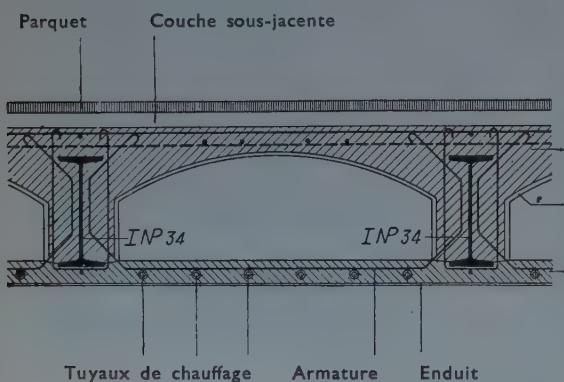


FIG. 57. — Chauffage par rayonnement. Magasin Jelmoli, A. G. Zurich, 1936-1938.

Mode de construction des plafonds de l'étage supérieur de la retombée du toit avec chauffage par rayonnement. Plafond à éléments creux en tubes de roseaux et hourdis de béton (coupe transversale).

(Clichés Sulzer.)

matériaux et l'Institut de Recherches de Zurich, sous la direction de M. le Professeur Roš, la maison Sulzer avait fait des essais sur une base très ample (fig. 58 et 59). Les résultats de ces essais ont été publiés dans le rapport n° 134 du Laboratoire Fédéral, paru en 1941. M. le Professeur Roš dit dans ce rapport :

“ Le chauffage répété entre + 30° et + 60° C — durée d'une période de chauffage : trois à quatre heures — d'éprouvettes cubiques en béton avec tuyaux de chauffage incorporés dans le béton — dimensions normales uniformes — n'a pratiquement pas d'influence sur l'adhérence statique ou la résistance statique au glissement des tuyaux dans le béton. Les valeurs de l'adhérence statique maximum ne diminuent pas du tout ou à peine.



FIG. 58. — Essais de flexion de dalles.

(Cliché Sulzer.)

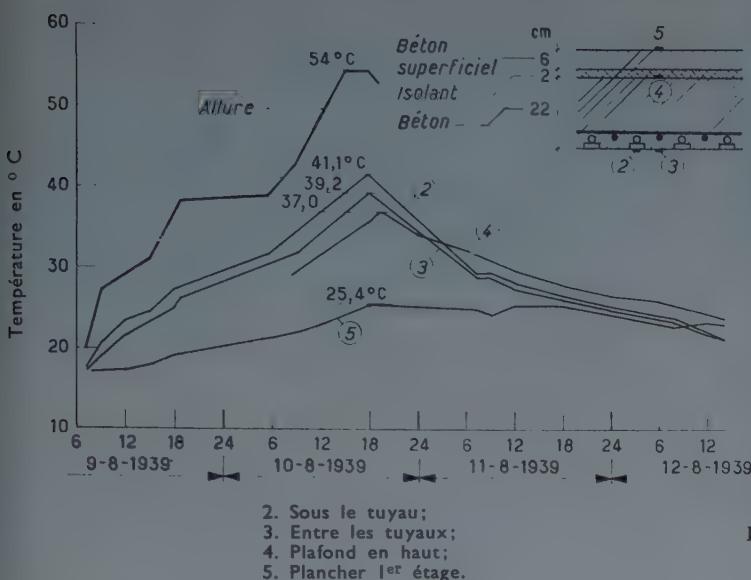


FIG. 59. — Champ de température dans une dalle.

(Cliché Sulzer.)

« C'est seulement pour des variations de température entre + 20° et + 70° C, répétées cent fois, que l'on constate une diminution de l'adhérence qui peut atteindre jusqu'à 45 %.

« Une armature supplémentaire doit toujours être prévue et exécutée, on ne peut s'en dispenser.

« La technique de la construction des planchers à chauffage par rayonnement doit obéir aux directives suivantes :

« 1<sup>o</sup> Béton à haute résistance, 300 kg/cm<sup>2</sup>: il doit ne pas être chauffé avant une durée de prise de vingt-huit jours, pour éviter une élimination prématurée de l'eau indispensable au durcissement convenable du béton.

« 2<sup>o</sup> Tuyaux spéciaux de chauffage : qualité correspondant à l'acier normal d'armature, parfaitement pliable à froid, bien soudable. Surfaces propres, non rouillées.

« 3<sup>o</sup> Élévation lente du chauffage, 2° C par heure. Température maximum + 55° C. Variations de températures dans les tuyaux de chauffage + 30 à 35° C.

« 4<sup>o</sup> Calcul correct, plans de construction appropriés et exécution soignée, selon les règles du béton armé. Épaisseur de recouvrement des tuyaux de chauffage par le béton 15 mm. »

Le chauffage par rayonnement avec tubes enrobés dans le béton est le plus employé. Les figures 61 à 64 présentent d'autres systèmes avec des tubes libres : le système Kamm breveté en 1943, le système Wolf, le système Frenger et le système Calorie.

On emploie également comme en France les plaques chauffantes (fig. 65).

Pour terminer, voici quelques renseignements sur la nouvelle méthode suisse pour calculer les déperditions thermiques.

Pour la transmission de chaleur on se base sur la formule bien connue :  $Q = Sk (t_i - t_e)$ .

On tient compte de l'infiltration de l'air en majorant



(Cliché Sulzer.)

FIG. 60. — Cathetometer avec contacts électriques chauffés à une température de 24° C. Les indications du globe noir et du globe poli diffèrent et permettent de déterminer la température des parois ainsi que la vitesse de l'air.

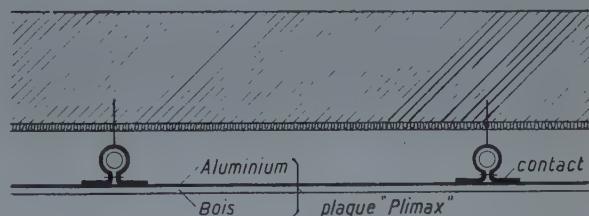


FIG. 61. — Chauffage par rayonnement (Système Kamm).

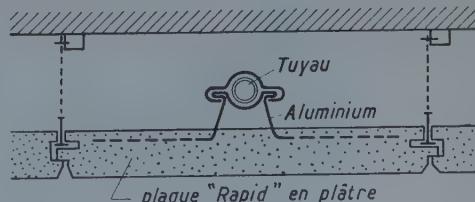


FIG. 62. — Chauffage par rayonnement (Système Wolf, Bâle).

la valeur  $k$  pour les fenêtres. C'est une méthode simple, rationnelle et assez exacte.

On tient compte également des influences atmosphériques — vent, soleil — par des majorations sur les faces extérieures selon leur orientation

S.	S.-O.	O.	N.-O.	N.	N.-E.	E.	S.-E.
0	10	10	20	20	20	20	10 %

Enfin, en dernier lieu, on tient compte de l'exposition à un vent exceptionnel par une majoration supplémentaire de 10 %.

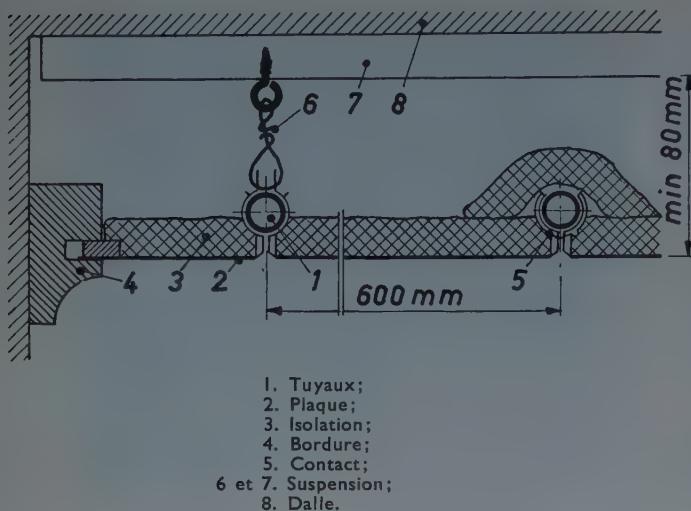


FIG. 63. — Chauffage par rayonnement (Système Frenger).

Ces valeurs ont fait leurs preuves dans la pratique et elles sont confirmées par les essais de M. HOTTINGER sur une maisonnette d'essai placée sur le toit de l'École Polytechnique Fédérale à Zurich.

En considérant les parois froides on a utilisé une méthode de M. GINI, de Milan. Sachant que la température résultante d'une ambiance — sans mouvement d'air — correspond approximativement à la moyenne entre la température de l'air ambiant et la température moyenne des parois, M. GINI fait intervenir la température des parois dans son calcul des déperditions de chaleur, pour déterminer ensuite la différence entre la température de l'air et la température résultante.

Pour le cas spécial du chauffage par radiateurs, M. GINI arrive finalement à la formule simple

$$t_a = t_r + 0,08 \frac{Q}{S}$$

où

$t_a$  = température de l'air °C;  
 $t_r$  = température résultante °M;  
 $Q$  = déperdition de chaleur kcal/h;  
 $S$  = surface totale de la pièce m<sup>2</sup>.

La surface totale exprimée en fonction du volume V d'une pièce dont les dimensions sont  $a$  et  $b$  et la hauteur  $h$ , est :

$$S = 2V \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h} \right).$$

L'expression entre parenthèses donne 0,8 pour les dimensions normales d'une pièce de 5 m de long, 5 m de large et 2,5 m de haut, d'où l'on tire :

$$S = 1,6V.$$

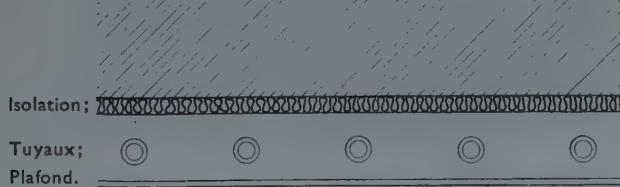


FIG. 64. — Chauffage par rayonnement (Système Calorie, Genève).



(Cliché Sulzer.)

FIG. 65. — Plaques chauffantes.

On a donc :

$$t_a = t_r + 0,05 \frac{Q}{V}$$

Si les parois sont à la même température que l'air (c'est le cas où  $\frac{Q}{V} = 0$ ), la température de l'air est égale à la température résultante. Pour obtenir une température résultante de  $17^\circ M$ , il faut atteindre une température de l'air de :

$\frac{Q}{N}$	0	20	40	60	80	kcal/m²h
$t_r$	17	17	17	17	17	${}^\circ M$
$t_a$	17	18	19	20	21	${}^\circ C$

Au lieu d'effectuer le calcul avec différentes températures de l'air, on applique des majorations aux déperditions calculées, par exemple si le calcul est basé sur  $t_a = 18^\circ C$ :

$\frac{Q}{N}$	20	40	60	80	.kcal/m²h
Majoration...	0	7	14	21	%

Ou bien encore plus simple : pour chaque paroi froide on augmente la puissance nécessaire de 5 %-10 %, selon leur grandeur ou leur perméabilité de chaleur.

Il existe encore d'autres facteurs à considérer. Si on a deux pièces dont les murs extérieurs sont semblables, mais dont les profondeurs sont différentes (fig. 66), l'expérience enseigne que la pièce profonde a un besoin élevé de chaleur. Pourquoi ? La transmission est la même

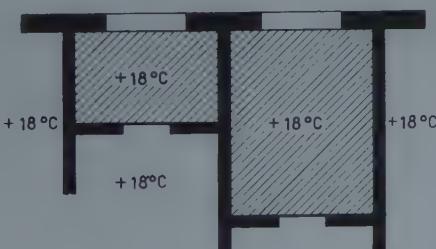


FIG. 66.

si les deux pièces sont entourées d'autres pièces chauffées. L'infiltration de l'air est aussi la même. Même si le régime du chauffage est discontinu, la puissance nécessaire reste

en général la même, parce que la pièce profonde se refroidit moins que l'autre.

Dans la pratique, il arrive toujours que des pièces voisines n'ont pas la même température et il existe toujours la possibilité d'un flux de chaleur entre les parois intérieures, c'est-à-dire qu'il faut introduire la surface totale dans le calcul et supposer un flux de chaleur d'environ  $5 \text{ kcal/m}^2$  vers les pièces voisines.

Au lieu d'introduire la surface totale, on peut se servir du volume pour le calcul et dire :

Le flux de chaleur imprévu vers les pièces voisines chauffées est :

$$Q_i = 5 S.$$

Pour simplifier,  $S$  est la surface totale et non pas seulement la surface des parois intérieures. On obtient :

$$Q_i = 5 \times 2 V \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h} \right).$$

ou

$$Q_i = 10 n V$$

si

$$n = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}.$$

Pour une pièce normale de  $5 \times 5 \times 2,5 \text{ m}$ , on arrive à un flux de chaleur de  $Q_i = 8 V \text{ kcal/h}$ . C'est la valeur normale de la chaleur pour le renouvellement de l'air et je crois bien que toutes les méthodes où le renouvellement d'air intervient dans les calculs, tiennent compte en outre de ce flux de chaleur imprévu. A ce moment, la valeur  $n = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}$  est le taux du renouvellement d'air.

Notre calcul est donc simple :

1° Transmission avec des valeurs de  $k$  élevées en raison de l'infiltration.

2° Renouvellement d'air en raison des flux de chaleur imprévus (Majoration de sécurité).

3° Majoration de la puissance nécessaire du fait des parois froides, en fonction de la valeur  $\frac{Q}{V}$ .

Vous voyez, Messieurs, qu'en Suisse on a largement profité de vos travaux, je pense à la méthode française de calcul parue en 1949; je pense aussi aux importants travaux de MM. NESSI et NISOLLE, bien connus en Suisse. Je pense encore aux travaux très intéressants de M. CADIERGUES sur le thermomètre à température résultante et sur le calcul des puissances en chauffage discontinu.

En terminant, permettez-moi, Mesdames et Messieurs, de vous remercier de l'attention que vous m'avez accordée pendant mon exposé et de vous exprimer ma grande satisfaction d'avoir pu participer à ce congrès.

#### CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie très vivement M. KAMM de sa conférence très intéressante. Nous allons, si vous le voulez bien, ouvrir la discussion sur les conférences que vous venez d'entendre.

## DISCUSSION

### I<sup>e</sup> Sur les exposés de MM. RYDBERG, WATZINGER et JACOBSEN.

M. HERODY demande s'il est exact qu'en Suède la ventilation mécanique aurait causé des mécomptes. Le Professeur WATZINGER ne peut apporter aucun renseignement utile sur ce qui aurait été constaté en Suède à ce sujet.

D'un échange de vues entre MM. MISSENARD, FENIGER et HERODY, il apparaît que le seul inconvenient qui puisse résulter de la communication d'un étage à l'autre avec la ventilation mécanique et conduit unique peut être évité avec l'installation de soupapes équilibrées.

Une autre question au sujet des chaudières à faible volume, et à forte transmission unitaire et rendement important semble surtout concerter les chaudières à haute pression.

M. MISSENARD ayant cru remarquer que le chauffage par rayonnement ne semble pas avoir un grand développement dans les pays nordiques en raison des basses températures observées et de la trop grande surface rayonnante qui en résulteraient, le Dr. FENIGER ne paraît pas partager cette opinion.

Mais l'attention des auditeurs est particulièrement attirée par le Président sur la différence des pertes calorifiques par convection et par rayonnement : quand la température de l'air est de — 5° C, au cours de la nuit, les pertes par rayonnement correspondent à — 80° C, si bien que lorsque l'on prétend connaître à 2 % près les pertes calorifiques d'un local, on est souvent bien loin de la vérité. Il faut s'adresser à un bon technicien pour éviter de fortes erreurs, il faut reconnaître cependant que le calcul des déperditions comporte une grande part d'arbitraire, ne serait-ce que dans la définition des températures extérieures admises. Les différences, issues des différents bureaux d'études sont fréquemment grandes. Elles ont besoin d'être signalées, car elles frappent souvent des techniciens qui sont convaincus que ces différences sont beaucoup moins importantes. M. HERODY appuie cette opinion d'après les résultats de concours auxquels il a été amené, directement ou non, à participer.

Une dernière question est posée au sujet de la conférence de M. le Professeur RYDBERG, par M. MARCQ au sujet du chauffage urbain en Suède : le chauffage des flots est-il assuré directement par le fluide du réseau, ou passe-t-on par l'intermédiaire d'échangeurs ?

M. le Professeur WATZINGER peut répondre sur ce point en précisant que les deux systèmes sont employés, mais que la solution par échangeur est la plus utilisée.

La discussion sur la conférence de M. JACOBSEN débute par une question de M. MARCQ relative au raccordement sur le circuit primaire à eau chaude d'une installation secondaire. Sur la figure 23 de la conférence il est mentionné un éjecteur qui semble nécessité par les variations de pression susceptibles de se produire entre les points de raccordement du réseau primaire et du réseau secondaire pouvant provoquer le passage de l'eau de départ vers l'eau de retour, au lieu du passage inverse que l'on désire obtenir. Après un échange de vues entre le conférencier, le Président et M. MARCQ, il résulte que la présence d'une soupape automatique convient parfaitement, d'autant que la chute de température entre les deux réseaux n'est pas très importante.

\* \* \*

M. MISSENARD intervient personnellement au sujet de la notion de l'"Homme de fer" et de l'interprétation des résultats que l'on pourrait faire, à tort, de cette création. Le seul avantage que présente cet appareil sur l'eupathéoscope est la possibilité de le munir de vêtements de la forme habituelle.

\* \* \*

Sur une question de M. ZANIROLI, le conférencier précise qu'en principe les eaux de condensation du chauffage urbain retournent à la centrale.

\* \* \*

M. HERODY demande s'il a été constaté en Norvège les mêmes inconvenients que ceux constatés en France en ce qui concerne l'utilisation du bois comme combustible (dépôts de goudrons sur les conduits).

Après les interventions de MM. FICHARD et MISSENARD, M. FENIGER confirme l'opinion du Professeur WATZINGER sur la

constatation des mêmes inconvenients, allant même jusqu'aux feux de cheminée, mais l'abondance de ce combustible, et partant son faible prix de revient, maintient la faveur de son utilisation.

\* \* \*

Il est fait remarquer à M. JACOBSEN que, d'après son exposé, il existe parmi les usines de chauffage urbain un certain nombre d'usines à vapeur et d'autres à eau chaude. Est-ce que les résultats d'exploitation font pencher au Danemark vers l'utilisation de l'eau surchauffée ou de la vapeur pour les chauffages urbains ?

M. JACOBSEN. — Je pense que l'eau chaude est préférable pour l'exploitation, même industrielle.

UN ASSISTANT. — De l'eau chaude à 95° ?

M. JACOBSEN. — Oui, mais dans certains cas il est évidemment nécessaire d'utiliser la vapeur pour l'industrie.

M. MISSENARD. — La comparaison n'est peut-être pas commode, mais est-ce que l'on vend la « caloric vapeur » plus cher que la caloric eau chaude ?

M. JACOBSEN. — Oui.

M. MISSENARD. — Les 1 000 calories, dans un cas de chauffage à vapeur, coûtent-elles plus cher ou meilleur marché que quand on emploie de l'eau ?

M. JACOBSEN. — Les calories sont, pour l'usine, plus chères ; mais pour les maisons le prix est le même, quel que soit le fluide.

M. ZANIROLI. — Si on fait l'eau chaude avec de la vapeur à l'usine en produisant l'énergie, il ne doit pas y avoir de différence.

M. FICHARD. — Si j'ai bien compris, le chauffage urbain dans les villes du Danemark, comme dans la plupart des villes européennes, serait exploité au moyen d'eau à basse température.

M. JACOBSEN. — Oui, sauf à Copenhague, où une partie est à la vapeur. Le reste est à l'eau chaude à basse température, au-dessous de 100°.

M. FICHARD. — Vous n'avez pas d'expérience de chauffage avec de l'eau à une température plus élevée pour faire des comparaisons ?

M. JACOBSEN. — Dans des cas spéciaux on a des températures de 180°, mais c'est pour un bloc, ce n'est pas le chauffage urbain.

\* \* \*

M. BILLINGTON, dans une intervention très remarquée, s'étend sur l'amélioration que doit présenter l'étude des mesures de conductibilité thermique des matériaux. Jusqu'à présent, l'on a encore trop sous-estimé l'influence de l'humidité des matériaux, celle de la ventilation, les pertes par le sol et celles des toitures. Pour ces dernières, en particulier, les pertes atteignent parfois cinq et six fois les valeurs acceptées, en raison de la ventilation au travers des joints qui présentent les feuilles de la toiture. A signaler également les pertes que provoquent, dans les écoles les grandes baies vitrées. D'autre part, le régime permanent continu n'existant pas dans la réalité, il y a lieu de tenir compte de la capacité thermique du bâtiment. Ce dernier problème est surtout du ressort des architectes plus que de celui de l'ingénieur.

Cette remarque provoque l'intervention de M. MISSENARD.

M. MISSENARD. — Oui, mais le malheur c'est que les architectes ne s'en préoccupent pas assez. C'est le moins que l'on puisse dire, et il faut que les ingénieurs soient leurs conseillers en la matière. Il faudrait que nous arrivions à ce qu'une maison ne fût pas construite avant que tout ait été étudié en vue du chauffage.

Quand je débute mon cours à l'École des Beaux-Arts, je demande aux élèves : « Qu'est-ce que la maison ? C'est l'héritière de l'ancienne caverne, destinée à protéger les habitants contre les périls extérieurs. » Maintenant il n'y a plus que des périls d'ordre climatique. Donc, le cœur de la maison, c'est l'installation de chauffage et tout doit être construit autour de cette installation

de chauffage, c'est-à-dire que les parois devraient être conçues en vue du chauffage. Et c'est pourquoi c'est le rôle des ingénieurs d'étudier la chose en temps utile et de conseiller les architectes.

Vous savez que nous étudions également les autres aspects du problème en France ainsi que dans les autres pays : la perméabilité des matériaux à l'air, la ventilation naturelle. Mais il y a une chose sur laquelle j'attire votre attention, et tout à l'heure M. WATZINGER en a parlé : quand on mesure les pertes calorifiques il faut tenir compte de la façon dont on mesure la température à l'extérieur, parce qu'en relevant la seule température sèche, vous pouvez commettre une grosse erreur puisqu'elle ne tient pas compte du rayonnement de la toiture vers les espaces interplanétaires, qui sont extrêmement froids.

M. FENIGER. — Si j'ai bien compris, M. BILLINGTON a dit que l'on faisait trop de mesures sur la conductibilité des matériaux secs, mais je crois que M. WATZINGER a fait aussi des mesures de

conduction thermique en fonction du degré hygrométrique de ces matériaux.

\* \* \*

M. FICHARD soulève ensuite l'importante question des compteurs de chaleur, au sujet desquels le conférencier a annoncé des appareils de conception nouvelle.

M. JACOBSEN précise que la réduction de prix par rapport à celui des compteurs d'immeubles est de moitié.

\* \* \*

Revenant sur la ventilation naturelle des locaux, M. HERODY s'élève sur la précision des 3 m que le Professeur WATZINGER a donnée pour la hauteur de souche des conduits de ventilation et voudrait des précisions sur l'emplacement des bouches d'entrée d'air. M. FENIGER donne une cote de 25 cm au-dessous du plafond, les ouvertures étant munies de diffuseurs appropriés.

## 2<sup>e</sup> Sur l'exposé de M. KAMM.

M. MARCQ. — J'ai été très frappé par l'importance des majorations pour orientation qui sont plus importantes que celles que nous avons l'habitude d'adopter et par la faible valeur des majorations pour vents qui, me semble-t-il, en Suisse, doivent être plus violents que chez nous.

M. KAMM. — Les vallées suisses sont à l'abri des vents violents. C'est pourquoi la vitesse normale moyenne est de 2 m/s, tandis que chez vous elle est de 5 m/s.

M. MARCQ. — Je demanderai alors peut-être des majorations plus importantes pour les vents violents, pour les immeubles exposés sur pentes.

M. MISSENARD. — M. KAMM veut dire que les vents violents sont moins forts en Suisse du fait de la configuration du terrain.

M. KAMM. — Le vent peut changer de direction et cela change le calcul, et c'est pour cela qu'il ne faut pas exagérer les majorations.

M. MISSENARD. — L'instabilité du vent fait que tout le monde est également partagé de la même façon.

\* \* \*

M. ROUILLIER. — Je suis frappé de l'accumulation de chaleur qui semble généralisée et je serais heureux de savoir à quoi cela tient. Toutes les installations dont on nous a parlé comportaient des accumulateurs de chaleur. Je ne vois pas pourquoi il en est fait un tel usage.

M. KAMM. — Cela vient des chaudières électriques parce qu'on est obligé d'utiliser l'énergie électrique de nuit.

M. MISSENARD. — Et de régulariser la puissance de la chaudière en évitant les pointes.

M. ROUILLIER. — Quelle capacité donne-t-on à ces accumulateurs de chaleur en fonction de la puissance de l'installation ?

M. KAMM. — Cela dépend.

M. ROUILLIER. — Quel est le rapport de l'accumulation par rapport à la totalité de l'installation ?

M. KAMM. — On essaie de choisir la grandeur de l'accumulation d'après les besoins moyens. Vous avez vu tout à l'heure qu'on a une chaufferie avec deux chaudières de 40 m<sup>2</sup>; on a ajouté un accumulateur de 30 m<sup>2</sup> environ.

M. NESSI. — Je voulais rappeler que les accumulateurs sont absolument indispensables lorsqu'on veut faire du chauffage intermittent au moyen de chauffage par rayonnement avec panneaux dont les tubes sont incorporés dans le béton, et dans ce cas l'accumulateur doit être de grande puissance. J'ai présenté au Congrès du Chauffage Industriel, dernièrement, une étude dans ce sens à laquelle on peut se référer.

\* \* \*

M. HERODY demande ensuite au conférencier où en est en Suisse la question du chauffage à air chaud. D'après les renseignements qui lui sont parvenus ce système lui semble en régression.

M. KAMM. — Pour les petites maisons, on emploie beaucoup le chauffage à air chaud, surtout si les pièces sont toutes groupées; mais on utilise de plus en plus des chauffages centraux parce que les Suisses exigent du confort et veulent avoir toutes les pièces chauffées, y compris la salle de bains; on arrive alors pour les petites maisons aussi, au chauffage central. Mais il y a beaucoup de petites maisons qui ont le chauffage à air chaud.

M. MISSENARD. — A circulation naturelle ?

M. KAMM. — Oui, mais il y en a d'autres avec des ventilateurs.

M. CHAPUIS. — Est-ce qu'il n'y a pas des installations suisses qui ne donnent pas satisfaction et qui discréditent le système à air chaud ?

M. MISSENARD. — Il est indéniable que les appareils à feu direct, c'est-à-dire sans interposition d'une lame d'eau entre les gaz brûlés et l'air de chauffage, sont évidemment beaucoup plus fragiles et l'expérience montre qu'ils s'usent beaucoup plus vite, ce que trop souvent l'on ignore; et c'est une des raisons pour lesquelles les appareils à feu direct sont peut-être en régression parce qu'on commence à s'apercevoir qu'ils durent moins longtemps que les appareils dont les surfaces de chauffe sont protégées par l'eau.

M. CHAPUIS. — Précisément il y a des appareils à feu direct qui sont très anciens, qui existent toujours, et il y en a beaucoup de nouveaux qui ont tendance, comme vous le dites fort justement à disparaître parce qu'ils ne sont pas construits assez sérieusement.

M. MISSENARD. — Quand la concurrence ne joue pas trop, les appareils sont conçus largement et durent longtemps. Quand la concurrence force les constructeurs à diminuer leurs prix, ils diminuent le poids de matière et les appareils durent peu de temps.

M. CHAPUIS. — Il y a peut-être une autre raison. Nous avons constaté, non seulement dans les générateurs à air chaud, mais aussi dans les chaudières à charbon et à mazout, des corrosions qui abîmaient les chaudières beaucoup plus rapidement maintenant qu'avant la guerre de 1914, par exemple. Nous avons eu l'occasion de démonter des chaudières installées en 1907, on aurait dit qu'elles avaient été installées quinze jours avant, il n'y avait dessus aucune trace de corrosion; mais avec les métaux actuels, que ce soit fer ou acier, il semble que ce ne soit pas la même chose.

M. MISSENARD. — Malheureusement, je crois que la grosse majorité des clients ne tient pas assez compte des durées réelles d'amortissement; aussi, la plupart du temps, les installations sont-elles choisies en fonction du prix de premier établissement et coûtent ainsi en réalité beaucoup plus cher que des installations susceptibles de durer plus longtemps.

M. ROUILLIER. — Sur la question de durée des appareils, il y a peut-être une chose qui intervient, c'est que les constructeurs affirment : « Tel appareil durera plus longtemps que tel autre », mais quand il s'agit de les garantir, ils disent : « Nous les garantissons aux conditions de la Chambre Syndicale », c'est-à-dire un an. Je me rappelle avoir eu cet exemple, il s'agissait de chauffe-eau électriques, un représentant disait : « Tel chauffe-eau est construit avec un métal spécial et il durera beaucoup plus longtemps. » Je lui ai répondu : « Vous le garantissez sans doute plus longtemps ?

— Non, Monsieur, les conditions de la Chambre Syndicale sont valables pour l'un comme pour l'autre. »

M. CHAPUIS. — Il y a peut-être aussi une raison, c'est que l'entretien entre également en ligne de compte. Il est fréquent de voir des chaudières qui ne sont pas ramonées de l'année, on les retrouve avec de la boue, ce sont des suies sulfureuses de brûleurs à mazout et cette boue c'est de l'acide sulfurique; vous pensez bien que si vous pouvez garantir un appareil dix ans quand il est bien et régulièrement entretenu, dans ce cas particulier il n'en est plus question et il est difficile de prouver que l'appareil a été mal entretenu.

M. ROUILLIER. — Cela dépend certainement des conditions d'utilisation; mais si dans des conditions égales un appareil doit durer plus longtemps que l'autre, le constructeur qui connaît sa fabrication mieux que personne devrait pouvoir le garantir plus longtemps que l'autre.

M. MISSENARD. — Théoriquement, vous avez parfaitement raison; pratiquement cela conduit à de grandes complications économiques parce qu'on ne voit pas une maison garantissant son matériel pendant quinze ans. Que deviendra-t-elle entre temps? Mais la question est certainement soluble, par des modifications radicales de nos habitudes.

M. BEAURIENNE. — Il y a certains constructeurs qui se sont plaint que des confrères garantissaient des chambres de combustion pour dix ans, bien qu'ils n'aient certainement pas l'expérience de dix ans, puisqu'il n'y a pas dix ans qu'on les fabrique.

M. MISSENARD. — C'est l'inconvénient de l'absence d'expériences suffisamment prolongées et c'est une des rançons de la rapide évolution technique.

M. ROUILLIER. — C'est au fabricant à prendre le risque, plus qu'au client.

M. BEAURIENNE. — C'est un gros risque.

M. MISSENARD. — Vous avez raison tous deux et la question mériterait un examen approfondi.

\* \*

Revenant une nouvelle fois sur la question des déperditions provoquée par une intervention de M. HERODY, M. MISSENARD souligne qu'il importe surtout qu'une installation de chauffage soit équilibrée lors même qu'il y aurait une surpuissance générale. Il faut donc que les calculs de déperditions soient homogènes et que les corrections en fonction des diverses orientations soient rationnelles. C'est pour ces motifs que dans une installation de régulation, on doit prévoir des réseaux de distribution séparés pour les différentes façades. Il y a lieu d'insister particulièrement sur ce point.

M. HERODY partage entièrement l'avis du Président et souligne que l'expérience démontre que les modes de calculs varient sensiblement d'une entreprise à l'autre, que la répartition des résultats du calcul des déperditions et des pertes par ventilation est souvent très différente, mais que le total des pertes se rapproche sensiblement d'un bureau d'études à l'autre; il importe de ne pas prendre la méthode d'un bureau en la mélangeant avec celle d'un autre.

\* \*

M. MARCQ voudrait connaître l'origine du chiffre de cinq calories au mètre carré introduit par M. KAMM comme pertes imprévues. Il apparaît à la suite de l'échange de vues entre le conférencier et M. MISSENARD qu'il s'agit d'un coefficient de sécurité tenant compte des différences de température entre les différentes faces d'un bâtiment ou entre les différentes faces d'une cloison, différences imprévisibles.

\* \* \*

M. DESPLANCHES engage une discussion sur l'importance des vents dominants. Il émet l'hypothèse que cette préoccupation doit être importante en Suisse, il voudrait que dans les projets de chauffage la vitesse du vent qui a servi de base aux calculs soit précisée pour chaque face du bâtiment. Des circuits différents par face seraient avantageusement envisagés.

D'une discussion générale à laquelle participent, outre MM. MISSENARD et DESPLANCHES, MM. CHAPUIS et DEMONCY, il résulte qu'un accord est réalisé pour reconnaître que sous réserve de les utiliser judicieusement, les coefficients adoptés en France permettent de réaliser des installations donnant satisfaction aux usagers.

\* \* \*

Une dernière question est posée à M. KAMM au sujet du chauffage par rayonnement et son adaptation en Suisse, où en raison de la rigueur du climat, le chauffage par le sol est parfois insuffisant; il faut le compléter quand on veut en appliquer le principe des panneaux placés au plafond, et même sur les parois.

M. KAMM présente des dessins de modèles de radiateurs à parois épaisses et de surfaces de chauffe pour panneaux rayonnants qui offrent de gros avantages, compensés il est vrai par une augmentation sensible de leur prix de fabrication.

\* \* \*

NOTA. — M. CADIERGUES a pensé qu'à la suite de la discussion il importait de préciser un certain nombre de points qui pourraient induire en erreur les auditeurs.

a) Par temps clair, l'atmosphère vers laquelle rayonne une paroi peut être effectivement à  $-80^\circ\text{C}$  alors que l'air est à  $-5^\circ\text{C}$ . Il ne faudrait pas toutefois en surestimer l'importance, qui est indiquée dans le tableau suivant :

	PAROIS verticales	PAROIS horizontales
Rapport des déperditions probables aux déperditions calculées par la méthode classique.	1,4	1,7
Air à $-5^\circ\text{C}$ ; Sol à $-10^\circ\text{C}$ ; Atmosphère à $-80^\circ\text{C}$ . Coefficient superficiel extérieur : 18 = 14 (convection) + 4 (rayonnement)		

En outre, les atmosphères claires sont liées presque toujours à des vents faibles, et finalement les déperditions dans ce cas sont plutôt plus faibles.

b) Les faibles majorations dues au vent prises en Suisse sont basées sur la vitesse moyenne de vent, mais les calculs de coefficients K (en particulier le coefficient superficiel externe  $h_0$ ) sont faits comme en France pour un vent de l'ordre de 5 m/s.

c) Le « flux » de 5 kcal/m²h pour les cloisons internes entre pièces chauffées (qui n'est pas en fait une majoration) pris dans le calcul suisse est destiné à couvrir les différences de température entre locaux voisins, et nous paraît à la fois plus simple et tout aussi valable que notre méthode française où l'on calcule la transmission de chaleur entre une pièce à  $18^\circ\text{C}$  et une pièce à  $16^\circ\text{C}$  en calculant le coefficient K de la cloison sans se rendre compte qu'avec de si faibles différences de température le calcul classique de transmission de chaleur est totalement faux (nos coefficients K ne valent absolument pas pour de faibles écarts de température).

*Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.*

(Reproduction interdite.)

ÉDITÉ PAR LA DOCUMENTATION TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS, 28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS-VII<sup>e</sup>.

LXVI

RÉUNIE EN AVRIL 1953

## SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'*index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.*

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

*Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics,  
28, boulevard Raspail, Paris-VII<sup>e</sup>.*

Prix des reproductions photographiques :		
Microfilms : la bande de 5 images (port en sus) .....	100 F	
Positifs sur papier : la page (port en sus) :		
Format 9 × 12 ..... 70 F	Format 18 × 24 .....	110 F
13 × 18 ..... 90 F	21 × 27 .....	150 F
Minimum de perception .....	250 F	

Ces prix sont susceptibles de variation.

## I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

*Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.*

## B. — ARCHITECTURE ET URBANISME

1-66. **Dictionnaire d'architecture** (Dictionary of architecture). SAYLOR (H. H.); Éd. John Wiley and Sons. New-York, U. S. A. (1952), 1 vol., xi + 221 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B-865 au chap. III « Bibliographie ». — E. 24744. CDU 72.(02).

2-66. **Les chantiers expérimentaux** du M. R. U. Monit. *Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (4 avr. 1953), n° 14, p. II, 13, 15-16, 5 fig. Noisy-le-Sec. Chartres. Villeneuve-Saint-Georges, Creil, Strasbourg. E. 24794. CDU 711 : 728.

3-66. « **Aide-toi et l'on t'aidera** ». Application au problème du logement des populations des tropiques (Aided selfhelp, its application to the housing of tropical peoples). (Tiré à part de « Unit. Nations Hous. town country

planning » 1952. Bull. n° 6, p. 47-53, 11 réf. bibl. : Housing in the Tropics). E. 24901. CDU 711 : 728.3 : 690.37.

4-66. **Le problème du logement et de l'habitation aux Etats-Unis** (Das Wohnungs-und Siedlungsproblem in den U. S. A.). FROMMHOULD (H.); *Dtsch. Bauz.*, All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 101-105, 21 fig., 2 réf. bibl. E. 24572. CDU 711 : 728.

5-66. **La construction des habitations à l'étranger. I. II.** (Der Wohnungsbau im Ausland). LORENZ (A.); *Österr. Bauztg.*, Autr. (21 mars 1953), n° 12, p. 9; (28 mars 1953), n° 13, p. 5-6. E. 24645, 24714. CDU 711 : 728.

6-66. **Le foyer réformé de Rüdlingen (Suisse)** (Die reformierte Heimstätte in Rüdlingen). HENNE (W.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (4 avr.

1953), n° 14, p. 200-204, 12 fig., 7 fig. h. t., 1 réf. bibl. — Plans et vues de l'immeuble principal (adultes). Maison des jeunes. Plan d'ensemble de l'installation et des jardins. Détails et prix de revient. E. 24755. CUDU 727.

7-66. **Les techniques de la construction. Un échange d'idées particulièrement fructueux**. *Journ. Bâtim.*, Fr. (25 mars 1953), n° 1668, p. 1-2. E. 24734. CUDU 711 : 690.031 : 690.022.

8-66. **Études européennes sur le coût de construction. Evolution technique et réduction du prix de revient dans la construction des logements. II.** TRIEBEL (W.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr., n° 17, Cah. 165, p. 7-20, 21 fig. E. 24813. CUDU 690.03 : 728.

Conformément aux recommandations faites par le *Conseil International de Documentation du Bâtiment* (C. I. D. B.), les analyses présentées dans la **Documentation Technique** comportent leur indexation suivant les notations de la Classification Décimale Universelle (CDU). Les analyses sont publiées dans la **Documentation Technique** dans l'ordre des rubriques de la classification, du système CORDONNIER, mise au point il y a quelques années pour le rangement du fichier de documentation de l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*.

## C. — SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

## Ca RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

9-66. L'action dynamique du vent sur les bâtiments (L'azione dinamica del vento sulle costruzioni edilizie). *Corr. Costr.*, Ital. (19 mars 1953), n° 12, p. 6, 3 fig. — Comparaison des règles adoptées dans les divers pays. E. 24718. CUD 533.6 : 699.83.

10-66. Contributions récentes à la méthode des rayons X dans le domaine de l'analyse des contraintes (Recent contributions to the X-ray method in the field of stress analysis). NORTON (J. T.), ROSENTHAL (D.); Tiré à part de : *Univ. California Publ. Engng.*, U. S. A., p. 71-77, 11 fig., 21 réf. bibl. E. 23600. CUD 539.37 : 620.1.

11-66. Mesures de dureté pour la détermination des contraintes résiduelles (Hardness measurements for determination of residual stresses). SINES (G.), CARLSON (R.). Tiré à part de : *Amer. Soc. test. Mater., Bull.*, U. S. A. (fév. 1952), n° 180, p. 35-37, 4 fig., 8 réf. bibl. E. 23983. CUD 539.37.

12-66. Sur le sujet de la viscosité non linéaire (In tema di viscosità non lineare). G. *Genio civ.*, Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1-2, p. 41-49, 10 fig., 8 réf. bibl. E. 24810. CUD 539.4.

13-66. Contribution à la théorie du flambement plastique (Zur Theorie der plastischen Knickung). MÜLLERSDORF (U.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1952), n° 2, p. 57-61, 10 fig., 7 réf. bibl. E. 23059. CUD 539.3.

14-66. État de tension et ruptures fragiles. SOETE (W.), VANCROMBRUGGE (R.); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (déc. 1952), n° 6, p. 875-898, 21 fig., 11 réf. bibl. E. 24831. CUD 539.424.

15-66. Contrainte résiduelle et résistance à la fatigue (Residual stress and fatigue strength). ROSENTHAL (D.), SINES (G.); Tiré à part de : *Metal. Progr.*, U. S. A., p. 76, 1 fig., 1 réf. bibl. E. 23986. CUD 539.37.

16-66. Étude de l'essai à la traction (A study of the tension test). PARKER (E. R.), DAVIS (H. E.), FLANIGAN (A. E.); Tiré à part de : *Amer. Soc. test. Mater.*, U. S. A. (1946), vol. 46, p. 1159-1174, 13 fig., 9 réf. bibl. — État de contrainte à la section de striction immédiate avant la rupture. E. 23999. CUD 539.411.

17-66. Étude par la diffraction des rayons X de l'influence de la compression résiduelle sur la fatigue des éprouvettes entaillées (X-ray diffraction study of the effect of residual compression on the fatigue of notched specimens). NORTON (J. T.), ROSENTHAL (D.), MALOOF (S. B.); Tiré à part de : *Weld. J. Res. Suppl.*, U. S. A. (nov. 1946), 7 p., 15 fig., 11 réf. bibl. E. 23981. CUD 620.1 : 537.531.

18-66. Effet de la compression résiduelle sur la fatigue (Effect of residual compression on fatigue). ROSENTHAL (D.), SINES (G.), ZIZICAS (G.); Tiré à part de : *Weld. J. Res. Suppl.*, U. S. A. (mars 1949), 6 p., 16 fig., 4 réf. bibl. E. 23997. CUD 539.37.

19-66. Relaxation des contraintes résiduelles par un cycle simple de fatigue (Relief of residual stress by a single fatigue cycle). WALLACE (W. P.) FRANKEL (J. P.); Tiré à part de : *Weld. J. Res. Suppl.*, U. S. A. (nov. 1949), 1 p., 1 fig., 3 réf. bibl. E. 23989. CUD 539.37.

20-66. Effet de la contrainte résiduelle sur la résistance à la fatigue d'éprouvettes entaillées (Effect of residual stress on the fatigue strength of notched specimens). ROSENTHAL (D.), SINES (G.); Tiré à part de : *Amer. Soc. test. Mater.*, U. S. A. (1951), vol. 51, p. 593-610, 12 fig., 13 réf. bibl. E. 23984. CUD 539.37.

21-66. Rupture des maçonneries sous des

charges dynamiques (Masonry failure under impulsive loading). MARTIN DUKE (C.), BROMBERG (R.); *Univ. California (Dept. Engng)*, U. S. A. (déc. 1951), n° 51-12, IV + 75 p. — Bibliographie. E. 23485. CUD 693.2 : 539.37.

22-66. L'influence de la « biaxialité » sur la fragilité aux entailles (The influence of biaxiality on notch brittleness). ROSENTHAL (D.), MITCHELL (W. D.); Tiré à part de : *Weld. J. Res. Suppl.*, U. S. A. (sep. 1950), 13 p., 37 fig., 17 réf. bibl. E. 23990. CUD 539.56.

## Cac n Procédés de calcul.

23-66. Calcul simplifié des corps creux de révolution soumis à des déformations conservant cette symétrie. PASCHOUUD (J.); *Bull. tech. Suisse romande*, Suisse (4 avr. 1953), n° 7, p. 81-88, 6 fig., 5 réf. bibl. E. 24835. CUD 621.46 : 518.5.

24-66. Les méthodes de superposition. II. III. (fin) (Superposition methods). HAQ-TOON YAN; *Indian Concr. J.*, Inde (15 déc. 1952), vol. 26, n° 12, p. 369-372, 31 fig.; (15 fév. 1953), vol. 27, n° 2, p. 136-140, 42 fig., 4 réf. bibl. E. 23892, 24658. CUD 690.2 : 518.5.

25-66. La fonction des déformations (La funzione delle deformazioni). DEL POLI (S.); *Costr. metall.*, Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 7-8. — Résolution des problèmes d'élasticité plane par l'emploi de la fonction d'Airy. E. 24724. CUD 539.37 : 518.5.

## Ci GÉOPHYSIQUE

## Cib Géologie. Minéralogie.

26-66. Système unifié pour la classification des sols (The unified soil classification system). *Corps Engrs. U. S. Army (Waterways Exper. Stn, Vicksburg, Miss.)*, U. S. A. (mars 1953), vol. 1, Tech. Memor. n° 3-357, II + 30 p., 11 pl. h. t.; Annexe A : Caractéristiques des groupes de sols des remblais et des fondations (Characteristics of soil groups pertaining to embankments and foundations), vol. 2, I + 11 p., 1 fig. h. t.; Annexe B : Caractéristiques des groupes de sols relatifs aux routes et aux aérodromes (Characteristics of soil groups pertaining to roads and airfields), vol. 3, I + 9 p., 1 fig. h. t. E. 24832, 24833, 24834. CUD 624.131.2.

27-66. Répartition des sulfates dans les sols argileux et dans les eaux du sol (The distribution of sulphates in clay soils and groundwater). BESSEY (G. E.), LEA (F. M.); *Proc. Instn civ. Engrs.*, G. B. (mars 1953), (Part. I, General), vol. 2, n° 2, p. 159-181, 11 fig., 8 réf. bibl. E. 24399. CUD 624.138 : 553.611.

## Cib m Étude des sols.

28-66. Solution numérique de certains problèmes relatifs à la consolidation de l'argile (Numerical solution of some problems in the consolidation of clay). GIBSON (R. E.), LUMB (P.); *Proc. Instn civ. Engrs.*, G. B. (mars 1953), (Part. I, General), vol. 2, n° 2, p. 182-198, 9 fig., 12 réf. bibl. E. 24399. CUD 624.138 : 553.611.

29-66. Relation entre l'équivalent d'humidité des terrains et la granulométrie des sols (Correlação entre o equivalente de humidade de campo e a granulometria dos solos). PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS (M.); Tiré à part de : *Soc. Est. Província Moçambique*, Mozamb. (juil.-août-sep. 1952), Bull. n° 75, 15 p., 4 fig., 2 réf. bibl. (résumé anglais). E. 24841. CUD 624.131.49.

30-66. Quelques aspects techniques du problème des routes du Mozambique (Alguns aspectos tecnicos do problema de estradas de Moçambique). PIMENTEL PEREIRA DOS SAN-

tos (M.); Tiré à part de : *Soc. Est. Província Moçambique*, Mozamb. (juil.-août-sep. 1952), Bull. n° 75, 17 p. (résumé anglais). E. 24840. CUD 624.131.49 : 625.731.

31-66. Prévisions de la limite de retrait, du retrait linéaire et de l'équivalent d'humidité du terrain pour les mélanges de sols (Previsao do limite de retracção, da retracção linear e do equivalente de humidade de campo de misturas de solos). PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS (M.); Tiré à part de : *Soc. Est. Província Moçambique*, Mozamb. (oct.-nov.-déc. 1951), Bull. n° 72, 9 p., 5 fig., 1 réf. bibl. (résumé anglais). E. 24839. CUD 624.131.49.

32-66. Mécanique du sol, fondations et constructions en terre (Soil mechanics, foundations, and earth structures). TSCHEBOTARIOFF (G. P.); Ed. : McGraw-Hill Publ. Co Ltd, Londres, G. B. (1951), 1 vol., xx + 655 p., nomb. fig., 448 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-866 au chap. III « Bibliographie ». E. 23640. CUD 624.131 : 624.138 : 624.15 (02).

33-66. Le mystère du sous-sol mouvant (The mystery of the restless substratum). THORNLEY (J. H.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (19 mars 1953), vol. 150, n° 12, p. 33-34, 37-39, 6 fig. — Méthode dite « projectile » pour assurer l'assise du pieu dans un sol instable. E. 24763. CUD 624.131.4 : 624.138 : 624.154.

34-66. Glissements de terrain dans les argiles mouvantes de Norvège (Landslips in Norwegian quick-clays). HOLMSEN (P.); *Géotechnique* G. B. (mars 1953), vol. 3, n° 5, p. 187-194, 5 fig., 16 réf. bibl. E. 24642. CUD 624.131.4 : 552.52.

35-66. Considérations sur la sensibilité des argiles mouvantes de Norvège (Considerations on the sensitivity of Norwegian quick-clays). ROSENQVIST (I. Th.); *Géotechnique*, G. B. (mars 1953), vol. 3, n° 5, p. 195-200, 3 fig., 5 réf. bibl. E. 24642. CUD 624.131.4 : 552.52.

## Cid Atmosphère. Météorologie. Climatologie.

36-66. Recherches sur les courbes de vitesse et de température dans les couches d'air dans les arbres et les buissons et au-dessus de ces obstacles (Investigation of velocity and temperature profiles in air layers within and above trees and brush). POPPENDIEK (H. F.); *Univ. California (Dept. Engng)*, U. S. A. (mars 1949), Contract N6-onr-275. Task Order VI — NR-082-036, 45 p., 16 fig., 7 réf. bibl. E. 23507. CUD 551.577 : 536.5.

37-66. La mesure des conditions atmosphériques (Measuring the weather). HAY (A. D.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 98-101, 10 fig. E. 24685. CUD 551.5 : 620.1.

## Cif Topographie. Tracé des ouvrages.

38-66. Topographie des grands levés et plans généraux. DAUBRESE (E.); Ed. : Dunod, Paris; Office international de Librairie, Bruxelles, Belg. (1953), t. 1, 2<sup>e</sup> édit., 1 vol., 326 p., 256 fig. — Voir analyse détaillée B-859 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 65. — E. 24922. CUD 526.9 (02).

## Co CONDITIONS GÉNÉRALES

## Cod 1 Normalisation.

39-66. Liste des principales normes (AFNOR) intéressant la couverture et la plomberie. *Courrier Norm.*, Fr. (jan.-fév. 1953), n° 109, p. 30-40, 38 fig. E. 24675. CUD 389.6 : 690.241 : 696.1.

## D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

**40-66.** Manuel de l'ingénieur. Éd. : Libr. polytech. Ch. Béranger, Paris; Liège, Belg. (1953), t. 3, 2<sup>e</sup> part., 1 vol., xxiv-+ 452 p., 671 fig. — Voir analyse détaillée B-861 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 65. E. 24776. CDU 690.5 : 690.2 (02).

**41-66.** Le Congrès de Cambridge de l'Association internationale des Ponts et Charpentiers. CAMBOURNAC (L.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juin 1953), n° 66 (Théories et méthodes de calcul XIX). p. 557-568. — Questions traitées : Bases de dimensionnement et sécurité. Progrès des méthodes de calcul. Questions fondamentales intéressant la construction métallique. Applications pratiques en matière de construction métallique. Caractéristiques fondamentales et propriétés du béton. Problèmes actuels du béton, du béton armé et du béton précontraint. E. 25040. CDU 69 : 5 (061.3).

## Dab MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

**42-66.** La bentonite dans le bâtiment (Bentonit im Baugewerbe). ENDELL (J.); Bau-technik, All. (mars 1953), n° 3, p. 71-73, 4 fig., 6 réf. bibl. E. 24420. CDU 553.611.6.

**43-66.** Construction en Heraklith (Heraklith im Hochbau). HERAKLITH Rundsch., Autr. (déc. 1952), n° 21, 45 p., nombr. fig. (en allemand et en français). — Murs, planchers, toitures, constructions spéciales. E. 24974. CDU 691.32 : 691.11.

## Dab j Matériaux métalliques.

**44-66.** Critères de la résistance statique des matériaux métalliques. HENRION (Ed. jr.); Sci. Tech., Belg. (1952), n° 11-12, p. 205-207, 2 fig. — Considérations sur le diagramme de H. Schnadt, les cercles de Mohr, les courbes enveloppes de M. Caquot et la nouvelle hypothèse de Hencky-von Mises. Notion du pouvoir plastifiant de Schnadt. Étude par le professeur Baes d'une relation mathématique établissant la liaison entre le diagramme de Schnadt et celui de Mohr. E. 24812. CDU 691.7 : 539.3.

**45-66.** Aciers industriels de construction (Technische Baustähle). KÜNTSCHER (W.), KILGER (H.), BIEGLER (H.); Éd. : Wilhelm Knapp, Halle, All. (1953), 2<sup>e</sup> édit., 1 vol., VII + 489 p., 159 fig., 54 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-869 au chap. III « Bibliographie ». E. 24555. CDU 691.7 (02).

**46-66.** Écoulement du fil d'acier à haute résistance à la traction (Creep of high-tensile steel wire). CLARKE (N. W. B.), WALLEY (F.); Proc. Instn civ. Engrs, G.-B. (mars 1953), (Part I, General), vol. 2, n° 2, p. 107-154, 30 fig., 5 fig. h. t., 20 réf. bibl. E. 24399. CDU 691.71 : 539.411.

**47-66.** Propriétés portantes de la tôle d'aluminium et résistance des rivets au cisaillement aux températures élevées (Bearing properties of 24S-T sheet and shear strength of 24S-T rivets at elevated temperatures). FLANIGAN (A. E.), TEDSEN (L. F.), DORN (J. E.); Tiré à part de : Trans. A. S. M., U. S. A. (1947), vol. 38, p. 789-806, 11 fig., 4 réf. bibl. E. 24006. CDU 691.71 : 539.3.

**48-66.** Un moyen puissant pour l'étude des surfaces métalliques. VANDERWERSSCHE (G.); Ossature métall., Belg. (avr. 1953), n° 4, p. 221-225, 11 fig. — Microscope électronique. Préparation des échantillons. Applications et exemples. E. 24816. CDU 691.7 : 620.1.

Dab l Matériaux rocheux.  
Pierres.

**49-66.** Évaluation de l'affinité des matériaux pierreux pour l'eau (La valutazione dell'idrofilia dei materiali litici). ARIANO (R.); Strade, Ital. (mars 1953), n° 3, p. 76-84, 11 fig., 11 réf. bibl. E. 24876. CDU 691.2 : 532.6.

Dab le Liants.  
Chaux. Plâtre. Ciments.

**50-66.** Nouvelles normes suisses pour les liants (Die neuen schweizerischen Bindemittel-Normen). BRANDENBERGER (E.); Schweiz. Bauztg., Suisse (28 mars 1953), n° 13, p. 190-192. E. 24664. CDU 691.5 : 389.6.

**51-66.** Normes italiennes pour les liants hydrauliques et pour les ouvrages en ciment armé (Le norme per i leganti idraulici e per le opere in cemento armato). CORR. COSTR., Ital. (19 mars 1953), n° 12, p. 4. E. 24718. CDU 691.5 : 389.6.

**52-66.** Prise, durcissement, expansion (du plâtre) (Abbinden, Erhärten, Treiben). NACKEN (R.); Zement-Kalk-Gips, All. (mars 1953), n° 3, p. 69-78, 14 fig., 3 réf. bibl. (résumés anglais et français). E. 24688. CDU 691.55.

## Dab l el s Agglomérés.

**53-66.** Blocs en béton léger pour l'habitation (Lightweight concrete blocks for housing). B. R. S. DIG., G.-B. (mars 1953), n° 52, 4 p. E. 24827. CDU 691.32-412.

**54-66.** La fabrication industrielle d'éléments en béton armé pour plafonds et construction de toits (Die industriemässige Herstellung von Stahlbetonteilen für Decken und Dachkonstruktionen). MENZEL (M.); Betonst. Ztg., All. (mars 1953), n° 3, p. 92-94, 4 fig. (résumés anglais et français). E. 24625. CDU 690.2 : 693.55.

**55-66.** Moulage et pose des agglomérés de béton (Formgebung und Verlegung von Betonwerkstein). BISMARCK (J. Von); Betonst. Ztg., All. (mars 1953), n° 3, p. 95-98, 19 fig. (résumés anglais et français). E. 24625. CDU 691.32-412 : 725.4.

**56-66.** État actuel des travaux d'élaboration des normes et prescriptions intéressant la fabrication des agglomérés de béton (Stand der Arbeiten an Normen und Vorschriften, die für die Betonsteinfertigung von Interesse sind). GROOS (E.); Betonst. Ztg., All. (mars 1953), n° 3, p. 98-101 (résumés anglais et français). E. 24625. CDU 691.32-412 : 389.6.

**57-66.** La signification pratique de la nouvelle norme DIN 1053 pour l'emploi des blocs en béton léger (Die praktische Bedeutung der neuen DIN 1053 für die Verwendung von Leichtbetonsteinen). ROTHFUCHS (G.); Bauwirtschaft, All. (4 avr. 1953), n° 14, p. 324-325, 1 réf. bibl. E. 24756. CDU 691.32-412 : 389.6.

Dab lem r Briques.  
Tuiles. Poteries.

**58-66.** La résistance de l'argile cuite au gel. Un problème permanent. I. II. (The frost resistance of fired clay. A perennial problem). BUTTERWORTH (B.); Tiré à part de Brit. Clay-worker, G.-B. (1952), vol. 61, n° 722, p. 85-89, 7 fig., 37 réf. bibl.; n° 723, p. 122-124, 4 fig. E. 24673. CDU 691.4 : 699.8.

**59-66.** Bloc céramique creux à nervures avec trous longitudinaux ou verticaux utilisés dans la construction « Ortma » (Rippen-Ziegelhohlblock als Lang- und Hochlochblock für « Ortma »-Bauweise). ORTMAYER (P. A.);

Ziegelindustrie, All. (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 7, p. 234-235. E. 24806. CDU 691.4.

Dab m Bois et matériaux.  
à base de bois.

**60-66.** Le bois dans l'habitation (Timber in housing). Builder, G.-B. (3 avr. 1953), vol. 184, n° 5746, p. 537. — La préfabrication et la normalisation sont nécessaires et urgentes. E. 24753. CDU 691.1 : 693.057.1 : 389.6.

**61-66.** Le bois de réaction. Veine rouge Cellules gélatineuses. Leurs caractères, leur influence sur l'utilisation du bois. CAMPREDON (J.); Rev. Bois, Fr. (fév. 1953), vol. 8, n° 2, p. 3-7, 9 fig., 4 réf. bibl. — Étude de la formation du bois anormal présentant le défaut dit « veine rouge » ou « bois raide », la structure du bois de compression des résineux et du bois de tension des feuillus. Comportement pratique de ces bois. E. 24091. CDU 691.11.

**62-66.** Les agents déprédateurs du bois. Charp. Bois, Fr. (mars 1953), n° 9, p. 6-7, 3 fig. — Les champignons lignicoles. Les insectes xylophages (anobies, lyctus, capricorne des maisons, termites). E. 25012. CDU 691.11 : 620.193.86.

**63-66.** Le phénomène de « collapse » et ses répercussions sur le séchage des planches et des placages. VILLIERE (A.); Rev. Bois, Fr. (avr. 1953), vol. 8, n° 4, p. 17-20, 8 fig., 3 réf. bibl. E. 24985. CDU 691.11 : 620.197.

**64-66.** Instructions sur la protection du bois des constructions contre la pourriture (Merkblatt über baulichen Holzschutz gegen Fäulnis). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> fév. 1953), n° 2, p. 67, 8 fig., 1 réf. bibl. E. 24422. CDU 691.11 : 620.197.

**65-66.** Protection du bois dans les constructions (contre les champignons). II. III. (Baulicher Holzschutz). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 129; (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 4, p. 176-177, 11 fig. — Prescriptions ministérielles. E. 24572, 24805. CDU 691.11 : 620.197.

Dab n Matériaux spéciaux.  
Isolants. Réfractaires.

**66-66.** L'hydrofugation et l'imperméabilisation des matériaux. MURET (R.); Manuel gén. Peint., Fr. (mars 1953), n° 69, p. 125-128. — Précautions à prendre dans le cas particulier de l'emploi des hydrofuges en silicium. E. 24643. CDU 691-758.36.

**67-66.** Laine isolante tirée de la pierre (Isolierwolle aus Stein). Schweiz. Bauztg., Suisse (11 avr. 1953), n° 15, p. 224-225, 3 fig. E. 24881. CDU 677.52.

**68-66.** La vermiculite (Vermiculite). VAREY (E. R.); Colonial Geol. Surv., Miner. Resources Div., G.-B. (1952), III + 70 p., nombr. fig., 1 fig. h. t., réf. bibl. — Origine, propriétés, extraction, procédé d'exfoliation; production et consommation dans le monde, prix, marché. Emplois : remplissage en vrac; béton léger et isolant; plâtres; isolation réfractaire; divers. Sources de vermiculite dans le Royaume-Uni, le Commonwealth et à l'étranger. E. 24695. CDU 691 : 553 (02).

Dac PEINTURES  
PIGMENTS. VERNIS  
PRODUITS ANNEXES

**69-66.** La science et la technique de l'industrie des pigments, vernis, peintures et préparations assimilées. NEDEY (G.); Ingrs., Technic., Fr. (avr. 1953), n° 54, p. 49, 51, 53, 55, 11 réf. bibl.

bibl. — Les huiles siccatives et les siccatis. Les peintures et les vernis gras. E. 250011. CDU 691.57.

70-66. Minium de plomb ou chromate de zinc ? WALLON (J.); Bâtir, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 15. E. 24681. CDU 691.57 : 661.8.

71-66. Les peintures hydrofuges. FIGARET (J.). Peint., Pigment., Vernis, Fr. (avr. 1953), vol. 29, n° 4, p. 288-297. E. 24984. CDU 691.57 : 699.82.

72-66. Choix d'une peinture blanche durable pour l'extérieur d'une maison (Selection of durable exterior white house paint). Housing Res. (H. H. F. A.), U. S. A. (mars 1953), n° 5, p. 17-31, 12 fig., 2 réf. bibl. E. 24758. CDU 691.57 : 690.22.

73-66. Jaunissement des films de vernis incolores et de peintures blanches. Trav. Peint., Fr. (mars 1953), vol. 8, n° 3, p. 61-62. E. 24705. CDU 691.57 : 667.621.

## Dad PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MATERIAUX

74-66. La pénétration de l'humidité dans les matériaux et les éléments de construction d'après les phénomènes de diffusion et son évaluation numérique. I. (Die Durchfeuchtung von Baustoffen und Bauteilen auf Grund des Diffusionsvorganges und ihre rechnerische Abschätzung). SCHÄCKE (H.); Gesundheitsingenieur, All. (mars 1953), n° 5-6, p. 70-76, 7 fig., 16 réf. bibl. E. 24663. CDU 532.6 : 699.82.

## Daf SÉCURITÉ DES CONSTRUCTIONS

### Daf 1 Corrosion.

75-66. La lutte contre l'entartrage par les traitements internes. I. GUTH (J.); Tech. Entretien, Fr. (mars 1953), n° 3, p. 7-11 (Extrait du « Bull. Ass. fr. Propriétaires appar. vapour »). E. 24795. CDU 620.193 : 697.325.

76-66. Études du National Bureau of Standards sur la corrosion dans le sol des tuyaux en acier galvanisé (NBS studies underground corrosion of galvanized steel pipe). Heat. Pip. Air Condition., U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 106-107, 2 fig., 1 réf. bibl. E. 24685. CDU 620.193 : 621.643.

77-66. La vermine dans les bâtiments et sa destruction (Vermin in buildings and their extermination). McKENNY-HUGHES (A. W.), HARRIS (E. C.); J. R. I. B. A., G.-B. (mars 1953), vol. 60, n° 5, p. 192-195, 9 réf. bibl. E. 24715. CDU 620.193.86 : 699.8 : 728.

### Daf m Stabilité des constructions.

78-66. Rapport sur les mesures du faux aplomb du Campanile de Pise (Relazione sulle osservazioni di strapiombo sul Campanile di Pisa eseguite nel 1952 e confronto con le precedenti determinazioni). BALLARIN (S.); G. Genio civ., Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1-2, p. 50-54, 2 fig., 5 réf. bibl. E. 24810. CDU 725.94 : 620.1.

79-66. Le coefficient de sécurité dans la construction. II. (The safety factor in construction). THOMPSON (F. C.); Engineering, G.-B. (3 avr. 1953), vol. 175, n° 4549, p. 445-446, 1 fig., 10 réf. bibl. E. 24820. CDU 539.5.

## Deb INFRASTRUCTURE ET MAÇONNERIE

### Deb ja Consolidation du sol. Assèchement. Drainage.

80-66. Le compactage des sols et des fondations (Compaction of soils and subgrades). Highw. Bridges Engng Works, G.-B. (15 avr. 1953), vol. 19, n° 979, p. 4, 6, 2 fig. E. 24944. CDU 624.138 : 624.15.

81-66. Un nouveau moyen de lutte contre l'humidité : le procédé électro-osmotique. KOIRANSKY (P.); Bâtir, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 28-31, 7 fig. E. 24681. CDU 624.131 : 437.36.

### Deb je Terrassements.

82-66. L'air dans les remblais assure la stabilité (Air in earthfills assures stability). HALLETT (E. R.); Engng News-Rec., U. S. A. (1er juin 1950), vol. 144, n° 22, p. 44-45, 1 fig. E. 11374. CDU 624.13.

### Deb ji Fondations.

83-66. Emploi de pieux dans les fondations et les ouvrages maritimes (The application of piling to foundations and maritime structures). OWEN LAKE (J.); Reinforced Concrete Rev., G.-B. (juil. 1952), vol. 2, n° 10, p. 677-687, 4 fig. E. 24634. CDU 624.154 : 627.3.

### Deb le Mortiers.

84-66. Mortiers pour murs, enduits (Mauer-mörtel, Putz). Dtsch. Bauz., All. (1er mars 1953), n° 3, p. 116, 6 fig. — Composition des mortiers. Normes allemandes DIN 4207, 4208, 1169, relatives aux mortiers. E. 24572. CDU 691.53 : 693.2 : 693.6.

### Deb li Bétons.

85-66. La recherche et ses applications pratiques (Research and its practical applications). CHAMPION (S.); Reinforced Concrete Rev., G.-B. (juil. 1952), vol. 2, n° 10, p. 629-648, 13 fig. — Cette étude s'applique exclusivement au domaine du ciment et du béton. E. 24634. CDU 693.5.

86-66. Le contrôle du béton. Bâtir, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 21-24, nombr. fig. E. 24681. CDU 691.32 : 620.1.

87-66. Effets des variations de température sur le béton en fonction des agrégats (Effects of temperature changes on concrete as influenced by aggregates). STANTON WALKER, BLOEM (D. L.), MULLEN (W. G.); J. A. C. I., U. S. A. (avr. 1952), vol. 23, n° 8, p. 661-679, 17 fig., 11 réf. bibl. E. 20528. CDU 691.32 : 539.37.

88-66. Causes des fissurations dans le béton et moyens de prévention (The causes and prevention of cracking in concrete). Indian Concr. J., Inde (fév. 1953), vol. 27, n° 2, p. 119-123, 12 fig., 1 réf. bibl. E. 24658. CDU 691.32 : 539.37.

89-66. Spécification des résistances du béton (Specification of concrete strengths). Constr. Rev., Austral. (fév. 1953), vol. 25, n° 10, p. 15. — Considérations sur l'influence de l'âge du béton sur sa résistance. E. 24828. CDU 691.32.

90-66. La résistance du béton à la flexion et à la traction (Flexural and tensile strength of concrete). BLAKEY (F. A.); Constr. Rev. Austral. (fév. 1953), vol. 25, n° 10, p. 27-28, 4 fig., 4 réf. bibl. E. 24828. CDU 691.32 : 539.37.

91-66. La résistance caractéristique du béton (La resistencia característica del hormigón). PAEZ (A.); Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 400.2/1 — 400.2/6. E. 24412. CDU 691.32.

92-66. Le panneau « Superior » pour coffrages de béton, permettant des réemplois successifs (The Superior multiple re-use concrete form panel) (Photost.). Harborite (Harbor Plywood Corporation), U. S. A., 4 p. 14 fig. — Ces panneaux sont faits d'une lame en contreplaqué de bois dur de qualité supérieure du type pour extérieur, et de couches extérieures imprégnées de résine du type phénolique et liées par passage à chaud. E. 24576. CDU 691.32 : 690.575.

93-66. Coffrages en contreplaqué d'un type nouveau pour béton (Plywood today for concrete forms). (Photost.). Harborite (Harbor Plywood Corporation), U. S. A., p. 90-93, 19 fig. — Exemples d'utilisation. Il est courant aujourd'hui d'employer le contreplaqué pour les coffrages et de le réutiliser ensuite dans la construction. Il existe plusieurs sortes de contreplaqué en pin Douglas fabriqué spécialement pour l'emploi dans les coffrages pour béton avec réemplois successifs. E. 24577. CDU 691.32 : 690.575 : 691.116.

94-66. Recommandations pour la mise en place du béton par vibration (Concept-richtlijnen voor het trillen van Beton). Ingenieur, Pays-Bas (3 avr. 1953), n° 14, p. Bt. 23-Bt 34, 14 fig., 4 réf. bibl. (résumé anglais). E. 24807. CDU 693.556.4.

95-66. Contribution à l'étude de la désagrégation des bétons par l'eau de mer et les eaux sulfatées. III. (fin). BATTI (G.), BAIVERLIN (J.); Silicates industriel, Belg. (mars 1953), t. 18, n° 3, p. 97-102, 2 fig., 14 réf. bibl. E. 24885. CDU 691.32 : 620.193.

96-66. Les adjuvants du béton, plastifiants entraîneurs d'air et produits colloïdaux. Conditions d'emploi. DURIEZ (M.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juin 1953), n° 66 (Béton-Béton armé XXIII), p. 569-598, 13 fig. — Champ d'action. Etude détaillée de chacun des adjuvants existants. Conditions d'emploi. E. 25040. CDU 691.32-382.2.

97-66. Introduction aux procédés du béton sous vide (Introduction to the vacuum concrete processes). Struct. Engr., G.-B. (avr. 1953), vol. 31, n° 4, p. 118-121, 1 réf. bibl. — Discussion de l'article de I. LEVIANT. E. 24731. CDU 691.32.

98-66. Immeuble exécuté en béton de décombre (Ein Hochhaus im Schüttbeton). URBAN (P.), SCHRECKENBERGER (K.); Beton-Stalbetonbau, All. (mars 1953), n° 3, p. 64-67, 6 fig., 2 réf. bibl. — Immeuble de neuf étages à Mannheim. E. 24543. CDU 728 : 691.32.

99-66. Compactage du béton léger par vibration (Verdichten von Leichtbeton durch Rütteln). WALZ (K.); Betonst. Ztg., All. (mars 1953), n° 3, p. 83-84, 4 fig., 3 réf. bibl. (résumés anglais et français). E. 24625. CDU 693.556.4.

100-66. Les qualités du béton cellulaire. LEVIANT (I.); Bâtir, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 9-14, 11 fig. — Défauts observés dans les bétons cellulaires : manque d'homogénéité, fissuration, poudrage, retrait. Exposé du procédé F. A. N. A. L. Utilisation d'un homogénéiseur turbinant une pâte de ciment et d'un malaxeur produisant une mousse et recevant ensuite la pâte de ciment. E. 24681. CDU 691.32-382.2.

101-66. Application de l'occlusion d'air à la fabrication des produits en béton manufacturés. BAROIN (J. B.); Rev. Matér. Constr., Ed. « C », Fr. (mars 1953), n° 450, p. 99-103, 2 réf. bibl. E. 24803. CDU 691.32-412.

102-66. Béton résistant aux acides (Acid-resistant concrete). Builder, G.-B. (3 avr. 1953), vol. 184, n° 5746, p. 539, 1 fig. — Possibilités d'un nouveau procédé allemand. La présence d'une forte proportion de chaux vive rend le béton sensible à la corrosion par les acides. Le béton « Ocrated » est du béton traité par un gaz contenant du fluor, qui transforme la chaux en composés résistant aux acides. E. 24753. CDU 691.32 : 620.19 : 699.8.

## Deb m Maçonnerie.

103-66. Rapport sur l'influence des températures de gel sur les maçonneries de pierres artificielles. HALLER (P.); *J. Constr. Suisse romande*, Suisse (avr. 1953), n° 4, p. 212-214, 1 fig. E. 24979. CUDU 693.1 : 620.192.422.

104-66. Maçonnerie (Mauerwerk). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 120-122, 60 fig. — Norme allemande : mise en œuvre des pierres artificielles et naturelles. Liaisons. E. 24572. CUDU 693.2 : 691.2 : 691.3.

105-66. Introduction à la norme allemande DIN 1053. Calcul et exécution de la maçonnerie (Zur Einführung der DIN 1053. Mauerwerk-Berechnung und Ausführung). KOPTON (H.); Betonst. Ztg., All. (mars 1953), n° 3, p. 85-89, 5 fig. (résumés anglais et français). E. 24625. CUDU 693.2 : 389.6.

106-66. Maçonnerie armée (Bewehrtes Mauerwerk). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 118, 27 fig. — Norme allemande : DIN 1053. Armatures dans des murs en briques ou autres. E. 24572. CUDU 693.2 : 389.6.

Deb mo Enduits.  
Revêtements.

107-66. Pathologie de la construction. Les enduits. Bâtir, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 34-39, 8 fig., réf. bibl. E. 24681. CUDU 693.625.

108-66. Importance du support d'enduit pour les plafonds nervurés en béton armé (Die Bedeutung des Putzträgers bei Stahlbetonrippendecken). RENTSCHE (B.); *Betonst. Ztg.*, All. (mars 1953), n° 3, p. 91-92 (résumés anglais et français). E. 24625. CUDU 693.6 : 690.254.

109-66. I. Projets de revêtements en béton (Contraintes dues aux charges, à la température, etc.) (Concrete pavement design). *Constr. Rev. Austral.* (sep. 1952), vol. 25, n° 5, p. 24-29, 7 fig., 1 réf. bibl. — II. Fondations et terrassements sous les revêtements de béton (Subbases and subgrade treatments under concrete pavements) (nov. 1952), n° 7, p. 25-28, 4 fig., 3 réf. bibl. — III. Emploi de l'acier dans les revêtements en béton (Use of steel in concrete pavements) (jan. 1953), n° 9, p. 27-30, 2 fig., 2 réf. bibl. (Tiré de : « Concrete Pavement Design for Roads and Streets », publié par la Portland Cement Association of America). E. 22859, 23674, 24532. CUDU 729.69 : 693.5.

110-66. La résistance à la flexion est le critère de la qualité du béton pour revêtement du sol (Flexural strength the criterion of quality of pavement concrete). CHASTON (F. N.); *Constr. Rev. Austral.* (jan. 1953), vol. 25, n° 9, p. 19-25, 9 fig., 4 réf. bibl. E. 24532. CUDU 729.69 : 693.5.

111-66. Béton pour revêtements de sols (Concrete for pavements). SIMON (L. L.); SNEDDON (W. K.); *Constr. Rev. Austral.* (fév. 1953), vol. 25, n° 10, p. 19-24, 14 fig., 1 réf. bibl. E. 24828. CUDU 693.6 : 693.5.

## Deb ne Béton armé.

112-66. Le béton armé orthodoxe et ses anomalies. COUARD (A.); *Génie civ.*, Fr. (1<sup>er</sup> avr. 1953), vol. 130, n° 7, p. 133-134, 4 réf. bibl. E. 24804. CUDU 691.328 : 539.37.

113-66. Calcul des éléments en béton armé à la compression excentrée et déviée (Berechnung von Stahlbetonelementen auf schiefen exzentrischen Druck). TORJANIK (M. S.); Bauplan. Bautech., All. (fév. 1953), n° 2, p. 57-61, 12 fig. (Tiré de : « Mech. Stroit », U. R. S. S., 1951, vol. 29, n° 9, p. 23-27). E. 24641. CUDU 693.55 : 518.5.

114-66. Le nouveau règlement italien du ciment armé (Il nuovo regolamento del cemento armato). CASTIGLIA (C.); *G. Genio civ.*, Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1-2, p. 27-33, 4 fig. — Propositions publiées par le Conseil-National des Recherches. E. 24810. CUDU 693.55 : 331.14.

115-66. Quelques réalisations en ciment armé préfabriqué (Alcune realizzazioni in cemento armato prefabbricato). PIZZETTI (G.); *Att. Rass. tec.*, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 37-41, 14 fig. — Usines à Buenos-Aires. Fermes de 14 m de portée et galerie latérale de 7 m. E. 24691. CUDU 725.4 : 693.55.

116-66. Adhérence et frottement entre acier et béton (Haftung und Reibung zwischen Stahl und Beton). SIEMONSEN (F.); SPRING (A.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (mars 1953), n° 3, p. 49-53, 9 fig., 5 réf. bibl. E. 24543. CUDU 691.328 : 539.37.

## Deb ni Béton précontraint.

117-66. Construction d'un bow-string associant le béton précontraint et le béton armé. BARETS (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 (Trav. publ. XXIII), p. 697-704, 13 fig. — Intérêt de la précontrainte pour la suppression des contraintes de traction dans les tirants et suspentes d'un bow-string. Avantages économiques. Problèmes posés par l'exécution. E. 25041. CUDU 624.27 : 693.57.

118-66. Premier ouvrage précontraint dans l'Oregon (Oregon's first prestress job). PAXSON (G. S.); *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 28, n° 3, p. 57-59, 5 fig. — Toit plat porté par sept poutres précontraintes d'après le système « Freyssinet », de 18,3 m de long espacées de 6,1 m. E. 24723. CUDU 690.24 : 693.57.

119-66. Nouveau pont précontraint à Hunters Inn (G. B.) (New prestressed bridge at Hunters Inn, North Devon). CARNEGIE (R. B.); GIFFORD (E. W. H.); *Architect, G.-B.* (9 avr. 1953), vol. 203, n° 15, p. 432, 4 fig. — Portée 12,5 m, angle de biais de 5 %. E. 24851. CUDU 624.27 : 693.57.

120-66. Le béton précontraint aux U. S. A. (Prestressed concrete in America). *Constr. Rev. Austral.* (fév. 1953), vol. 25, n° 10, p. 25. E. 24828. CUDU 691.328.2.

121-66. Le pont sur la Fulda. I. (Fulda-brücke Guntershausen). KOBER (K.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 33-41, 25 fig., 1 réf. bibl. — Exposé sur l'ancien pont (détruit par la guerre), le pont provisoire; projets pour le nouveau pont en construction métallique ou en béton armé; projet adopté. Celui-ci comporte un arc creux en béton précontraint, 100 m de portée, et de chaque côté une section de trois travées. Flèche de l'arc : 19,5 m. Détail des armatures. E. 24128. CUDU 624.6 : 693.57.

122-66. Essais au mouton de plaques en béton précontraint en Suède (Fallversuche mit vorgespannten Stahlbetonplatten in Schweden). VOCH (H.); *Betonst. Ztg.*, All. (mars 1953), n° 3, p. 103, 5 fig., 1 réf. bibl. E. 24625. CUDU 691.413 : 693.57.

123-66. Béton précontraint. I. II. (Prestressed concrete). HARRIS (J. D.); MORRICE (P. B.); *Indian Concr. J.*, Inde (15 déc. 1952), vol. 26, n° 12, p. 344-352, 20 fig., 4 réf. bibl.; (15 fév. 1953), vol. 27, n° 2, p. 144-148, 18 fig. — Historique et théorie. E. 23892, 24658. CUDU 691.328.2.

124-66. Étude théorique expérimentale d'une dalle précontrainte sur appui élastique au-delà des limites d'élasticité. LEVI (F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juin 1953), n° 66 (Béton précontraint XVI), p. 535-556, 30 fig., 9 réf. bibl. — Exposé des essais faits sur une dalle précontrainte en vue d'interpréter le comportement de ce type de dalles au moyen de la théorie des états de coaction. Développement des fondements théoriques de la recherche; étude de l'effet d'une distorsion circonférentielle dans une dalle sur appui élastique en phases élastique et inélastique. Comparaison avec une dalle ordinaire. E. 25040. CUDU 691.328.2 : 518.5.

125-66. Les efforts parasitaires dans les ouvrages hyperstatiques en béton précontraint. PANCHAUD (F.); *Bull. tech. Suisse Romande*, Suisse (21 mars 1953), n° 6, p. 65-75, 15 fig., 3 réf. bibl. — Développement d'une méthode pratique pour estimer rapidement l'ordre de grandeur des efforts parasites dans le béton précontraint. Se plaçant dans l'hypothèse des déformations élastiques, on détermine les moments parasites sur appui dans plusieurs cas, on détermine ensuite les efforts de précontrainte d'abord avec les formules générales puis avec des formules simplifiées illustrées par des graphiques; application à une poutre continue à deux travées inégales, une poutre continue à deux travées égales, une poutre symétrique à trois travées, un portique. E. 24599. CUDU 691.328.2 : 518.5.

126-66. Emploi de barres d'acier en remplacement des câbles dans le béton armé précontraint (Barre d'acciaio in sostituzione di cavi nel cemento armato precompresso). DE SIMONI (U.); *Ingegnere*, Ital. (mars 1953), n° 3, p. 301-304, 2 fig., 8 réf. bibl. E. 24757. CUDU 691.328.2 : 691.71.

Dec ni CHARPENTE  
MENUISERIE.  
SERRURERIE.Dec j Travail du bois.  
Charpente. Menuiserie.

127-66. Charpentes et escaliers en bois. CAH. C. S. T. B., Fr., n° 17, Cah. 164, 14 p., 6 fig., 2 réf. bibl. — Prescriptions techniques générales. Principales essences de bois à utiliser; caractéristiques, mise en œuvre des matériaux; contrôle, vérification et réception des ouvrages. E. 24813. CUDU 694.1 : 690.013.

Dec l Travail des métaux.  
Charpente. Soudure.  
Menuiserie.

128-66. Influence des constantes élastiques sur la répartition de la charge entre les rivets (Influence of the elastic constants on the partition of load between rivets). MITCHELL (W. D.); ROSENTHAL (D.); Tiré à part de : *Univ. California Publ. Engng*, U. S. A., p. 17-26, 16 fig., 8 réf. bibl. E. 23595. CUDU 621.884 : 518.5.

129-66. C. E. C. M. : Commission pour l'Etude de la Construction Métallique. PEROT (F.); *Ossature métall.*, Belg. (avr. 1953), n° 4, p. 231-242, 13 fig. — Exposé des travaux du C. E. C. M. 1<sup>re</sup> Recherches statistiques sur la limite élastique des aciers, feuilletage des aciers calmés, soudabilité des aciers, modifications de structure, tolérances, allégement des laminés, profilés en tôle pliée. 2<sup>re</sup> Essais sur assemblages rivés, essais de flexion sur poutres composées de rivés et sur laminés, voilement et raidissement des poutres de grande hauteur, publication de notes techniques, perfectionnement des assemblages soudés, retrait, fatigue, comportement des ponts, flambement des pièces en I sollicitées obliquement, possibilités de réglage des efforts. E. 24816. CUDU 693.97 : 691.7 : 690.4.

130-66. Normes allemandes pour les fenêtres en acier et pour les échafaudages [Stahlfenster. Baugerüste (Übersicht). Stangengerüste]. Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 4, p. 164-172, nombr. fig. E. 24805. CUDU 693.97 : 690.282 : 389.64.

131-66. Charpente en acier de la « Westfalenhalle » à Dortmund (Die Stahlkonstruktion der Westfalenhalle in Dortmund). WITT (H. P.); *Bauingenieur*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 109-113, 15 fig. — Construction de forme ovale en plan; dimensions de la toiture; 117,5 m de long × 97,8 m de large, hauteur sous poutre au centre : 10,42. E. 23061. CUDU 690.24 : 693.97.

Ded TRAVAUX  
D'ACHÈVEMENT

Ded j Couverture.

132-66. Précaution contre les infiltrations (Precaucion contra las goteras). *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 199.22/1-199.22/4, 8 fig. (Tiré de : « Housing Res. »). E. 24412. C.D.U. 699.82.

133-66. L'aération des toitures; son influence sur l'étanchéité des couvertures en tuiles. *Tuiles, Briques*, Fr. (jan.-fév.-mars 1953), n° 13, p. 17-19, 9 fig. E. 24674. C.D.U. 690.24 : 696.121.

Ded ma Travaux  
de peinture.

134-66. Une nouveauté : le flocage. VACHER (G.); *Bâti*, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 16-19, 12 fig. E. 24681. C.D.U. 698.1.

Def PRÉFABRICATION

135-66. Industries nouvelles du bâtiment. I. La Rennaise de préfabrication et les procédés Barbé. DEBELVALET (J.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr., n° 17, Cah. 163, 22 p., nombr. fig. — Procédés de construction Barbé; organisation des ateliers de préfabrication; principales réalisations. E. 24813. C.D.U. 693.057.1 : 728.3.

136-66. Architecture préfabriquée (La casa prefabbricata). ABRAHAM (P.). Ed. : Vitali e Ghianda, Via alla Chiesa della Maddalena, 9, Gênes, Ital. (1953), édit. italienne, 1 vol. (22 × 31,5 cm), 108 p., 88 fig., L. : 1 800. — Voir analyse de l'édition française dans notre fascicule de Documentation Technique n° LVIII, de juillet 1952, au chapitre III « Bibliographie », p. 1108, n° B-713. E. 24369. C.D.U. 728 : 693.057.1 (02).

137-66. Méthode belge de préfabrication (Belgian method of precast construction). *Concr. Build. Concr. Prod.*, G.B. (nov. 1952), vol. 27, n° 11, p. 231, 233, 3 fig. E. 22689. C.D.U. 693.057.1 : 728.

Dib PLOMBERIE  
SANITAIRE

138-66. Les matières plastiques dans les installations sanitaires. FONTAINE (J.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr. n° 17, Cah. 162, 21 p., nombr. fig. E. 24813. C.D.U. 696.11 : 691.17.

Dic CLIMATISATION

139-66. Réglages du chauffage, de la ventilation et du conditionnement d'air (Heating, ventilating and air conditioning controls). *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 113-115. E. 24685. C.D.U. 697.

140-66. Chauffage et ventilation dans les usines (Heating and ventilation in factories). *Minist. Labour nation. Serv.*, G.B. (1952), 5<sup>e</sup> édit., Welfare Pamphlet n° 5, III + 115 p., nombr. fig., 19 réf. bibl. — Facteurs qui influent sur le confort. Conditions légales du chauffage et de la ventilation. Température effective et corrigée. Méthodes de chauffage. Systèmes combinés de chauffage et de ventilation. Méthodes de ventilation. Ventilateurs et conduites. Défauts et remèdes. Mesures de la vitesse de l'air et autres mesures. Filtration de l'air. Économie de combustible. E. 24393. C.D.U. 725.4 : 697.124 : 697.9.

141-66. Contributions nouvelles au contrôle graphique de la combustion. VERON (M.); *Bull. tech. Soc. fr. Constr. Babcock Wilcox*, Fr.

(oct. 1952), n° 25, 72 p., 15 fig., 3 pl. h. t., réf. bibl. — Formules fondamentales de la combustion. Diagrammes de combustion permettant de déterminer l'excès ou le défaut d'air, de contrôler l'analyse des fumées, d'identifier le combustible par l'analyse des fumées, de déterminer les autres caractéristiques des fumées. Abaques à juxtaposition de diagrammes; abaque à points alignés et axes rectilignes. Mode de dépouillement des lectures massiques. E. 24791. C.D.U. 536 : 697 : 518.3.

142-66. La Société américaine des Ingénieurs du Chauffage et de la Ventilation s'intéresse au calcul des pertes dans le chauffage et le refroidissement et dans l'accumulation de chaleur (A. S. H. V. E. interest in design heating and cooling loads and heat storage). TASKER (C.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (mars 1953), vol. 26, n° 309, p. 397-404, 8 fig., 3 réf. bibl. E. 24652. C.D.U. 536.2 : 697.

143-66. Échauffement et refroidissement des parois (Die Erwärmung und Auskühlung von Wänden). HOFBAUER (G.); *Allg. Warmetech.*, All. (1952), n° 11-12, p. 236-241, 3 fig., 4 réf. bibl. E. 24316. C.D.U. 536.2.

144-66. Température superficielle et perte de chaleur (Oberflächen-temperatur und Wärmeverlust). SEIFFERT (K.); *Allg. Warmetech.*, All. (1952), n° 11-12, p. 255-258, 3 fig., 4 réf. bibl. E. 24316. C.D.U. 536.5.

145-66. Isolation thermique de l'habitation (Heat insulation for housing). NASH (G. D.). Tiré à part de : *Housing Centre Rev.* (1952), n° 3, p. 9-11. E. 24726. C.D.U. 697.13 : 728.

146-66. La maison complètement isolée thermiquement (The fully insulated house). *Housing Res.* (H. H. F. A.), U. S. A. (mars 1953), n° 5, p. 43-51, 15 fig. E. 24758. C.D.U. 699.86 : 697.13.

Dic 1 Chauffage.

147-66. L'exploitation du chauffage et son influence croissante dans la conception des installations. FOURNOL, VALENCE (de), GRAUD; *Oeuvres Maîtres-Oeuvres*, Fr. (Équipement thermique-Chauffage-Ventilation-Conditionnement, n° 10), n° 23, p. 5, 7, 1 fig. E. 24016. C.D.U. 697.243.

148-66. Chauffage moderne et codification. MICHAUD (J.); *Tech. Inform. Chauff. Plomberie*, Fr., nouv. sér. n° 3, p. 4-5. — Travaux de codification des Belges. Cahier des charges national belge. Situation en France. Cahier des charges et normes en projet. Documents et codifications M. R. U. Examen critique des projets en cours. Évolution constante de la technique. E. 23963. C.D.U. 697 : 690.013 : 389.6.

149-66. La régulation automatique. III LIEBAUT (A.); *Flamme, Thermique*, Fr. (mars 1953), n° 54, p. 33-42, 19 fig., 1 réf. bibl. — Asservissement. Précision, sensibilité, exactitude. Réglage assuré à vitesse variable. Recherche de l'exactitude maximum dans le cas d'un réglage à action directe. Compensation. Réglage : à trois éléments, à trois éléments avec asservissement ou contre-asservissement. Régulateurs : à action directe, asservis, flottants, de niveau. E. 24781. C.D.U. 697.243.

150-66. Entretien des chaudières et circuit de circulation d'eau. *Oeuvres Maîtres-Oeuvres*, Fr. (Couverte-Plomberie-Équipement électrique, n° 10), n° 23, p. 9, 2 fig. — Action de l'autodétarreur électrostatique « Sola » par dissolution des sels. E. 24016. C.D.U. 697.325 : 621.187.12.

151-66. La vitesse optimum de circulation dans les échangeurs de chaleur (Die wirtschaftlichste Betriebsgeschwindigkeit in Wärmeübertragern). BOEHM (J.); *Allg. Warmetech.*, All. (1952), n° 11-12, p. 241-246, 6 fig., 6 réf. bibl. E. 24316. C.D.U. 697.243.

152-66. Un nouvel élément de construction pour les échangeurs de chaleur (Ein

neues Bauelement für Wärmeaustauscher). KÜHNE (H.); *Gesundheitsingenieur*, All. (mars 1953), n° 5-6, p. 65-69, 9 fig., 19 réf. bibl. — tuyaux munis de très larges ailettes longitudinales. E. 24663. C.D.U. 697.243.

153-66. Le chauffage catalytique. *Tech. Inform. Chauff. Plomberie*, Fr., nouv. sér. n° 4, p. 14-15, 1 fig. — Principe du système. Schéma de réalisation. Mise en œuvre. Entretien. Présentation de l'appareil. E. 24366. C.D.U. 697 : 662.75.

154-66. Contribution à la question du chauffage dans les habitations d'intérêt social (Zur Heizungsfrage im sozialen Wohnungsbau). JUNGBLUTH (M.); *Heiz.-Lüft.-Haustechn.*, All. (mars 1953), vol. 4, n° 2, p. 41-42, 1 fig., 1 réf. bibl. E. 24556. C.D.U. 697.124 : 725.83.

155-66. Le chauffage central collectif avec comptage de chaleur. *Tech. Inform. Chauff. Plomberie*, Fr., nouv. sér. n° 4, p. 7-9, 2 fig. — Description du système. Détails généraux d'exécution, le fluide chauffant intermédiaire étant de la vapeur basse pression par chufferie centrale ou chauffage urbain. Calcul des installations. E. 24366. C.D.U. 697.325 : 697.34 : 697.5.

156-66. Le chauffage central au mazout. *Bâtiment*, Fr. (14 mars 1953), n° 11, p. 10. E. 24521. C.D.U. 697.325 : 662.75.

157-66. Le chauffage à eau chaude à circulation accélérée. CHASSEREAU (R.); *Chaud-Froid*, Fr. (1953), numéro spécial, 83 p., nombr. fig., 1 pl. h. t. — Avantages du chauffage à eau chaude à circulation accélérée. Accélérateurs, circulateurs ou pompes. Calcul de la puissance absorbée. Du choix judicieux de la pompe. Couplage et marche de deux groupes électropompes. Répartition de la pression créée par la pompe. Calcul des diamètres des tuyauteries. Répartition des pressions. Accouplement de chaudières. Équilibrage des circuits. Point de branchement de l'expansion. Evacuation de l'air. Régulation. Recyclage des eaux de retour. Comparaison entre les diamètres calculés par thermosiphon et par pompe. Utilisation des canalisations en tubes de cuivre. E. 24574. C.D.U. 697.4.

158-66. L'air chaud pulsé appliquée au chauffage des grands locaux. III. IV. V. LECLERC (G.); *Chaud-Froid*, Fr. (fév. 1954), n° 74, p. 21, 25, 27, 3 fig.; (mars 1953), n° 75, p. 33, 35, 37, 3 fig.; (avr. 1953), n° 76, p. 17, 19, 21, 21. — Distribution par gaines. E. 24198, 24605, 24982. C.D.U. 697.5 : 697.124.

159-66. Le chauffage des immeubles d'habitation par conditionnement central. LEONARD (C.) Tech. Inform. Chauff. Plomberie, Fr., nouv. sér. n° 3, p. 7-9, 11, 3 fig. — Description sommaire. Domaine d'application. Intérêt du système. Conditionneurs et aérothermes. Gaines et accessoires. E. 23963. C.D.U. 697.5.

160-66. La récupération des calories perdues sur les moteurs Diesel. RINGGENBERG (H.); *Chauff. Ventil. Conditionn.*, Fr. (fév. 1953), n° 2, p. 10-12, 15-16, 19-21, 6 fig. (Tiré de : « Rev. tech. Sulzer », 1952, n° 3.) — Avantages de l'emploi du moteur Diesel, augmentation sensible de son rendement par la récupération des calories perdues à l'échappement et par les eaux de refroidissement. Analyse des pertes et bilan thermique. Exemple d'installation de récupération. Domaines d'application, chauffage de locaux, production d'eau chaude, production d'eau distillée sur les navires, pompes à vapeur sur les pétroliers, réchauffage du mazout, production de vapeur dans diverses industries. Exemples d'installation : sur un paquebot, dans une entreprise de filature. E. 24445. C.D.U. 697.124 : 697.34.

161-66. Recherches sur le chauffage des écoles (School heating research). WESTON (J. C.) J. Instn Heat. Ventil. Engrs, G.-B. (mars 1953), vol. 20, n° 211, p. 459-494, 19 fig., 6 réf. bibl. E. 24508. C.D.U. 697.124 : 727.112.

162-66. A travers les stands de la quatrième exposition du chauffage industriel. *Orient. tech.*, Fr. (fév.-mars 1953), n° 2-3, p. 27-29, 11 fig., 1 réf. bibl. — Recherche des calories perdues. Chauffage localisé; chauffage par hystérisis diélectrique, chauffage à cœur et chauffage superficiel des corps conducteurs. Modes de transmission de chaleur, leur différenciation par une méthode optique différentielle. Obtention des températures élevées en atmosphère quelconque ou dans le vide par l'arc intensif. Chauffage électrique par haute fréquence. Chauffage dans la masse de corps non conducteurs. Traitements thermiques des métaux. Chauffage par rayons infra-rouges. E. 24787. CDU 697.

163-66. Le chauffage à distance. BAZIN (R.); *Chaud-Froid*, Fr., II : (fév. 1953), n° 74, p. 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 19 fig.; III : (mars 1953), n° 75, p. 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 25 fig.; IV : (avr. 1953), n° 76, p. 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 15 fig. — Les installations : centrales, réseau. Raccordement des riveaux. Principes généraux; économie financière. Importance du chauffage à distance. Fluides transporteurs de chaleur. Densité calorifique. Canalisations, valeurs relatives des dépenses de premier établissement. Diagramme journalier de fourniture de chaleur d'un réseau. Emplacement de la centrale. Trajet des canalisations, concentration des puissances, répartition des puissances. E. 24198, 24605, 24982. CDU 697.34.

164-66. Canalisations de chauffage à distance posés en caniveaux (*Fernheizleitungen in Kanälen*). SCHILLING (H.); *Heiz-Lüft-Haustech.*, All. (mars 1953), vol. 4, n° 2, p. 37-40, 17 fig., 2 réf. bibl. E. 24556. CDU 697.34 : 621.643.

165-66. La production de l'eau chaude dans les immeubles d'habitation. Recherche de la solution la plus économique. RICHARD (L. G.); *Chauff. Ventil. Conditionn.*, Fr. (fév. 1953), n° 2, p. 30, 33-35, 3 fig. — Choix de l'agent calorifique. Prix d'échauffement d'un mètre cube d'eau entre 15 et 65°C avec les différents agents thermiques. Évaluation comparative du prix des divers systèmes de production d'eau chaude : gaz de ville, électricité, mazout, charbon. Tableau des frais d'amortissement en dix ans rapportés au mètre cube d'eau chaude. E. 24445. CDU 697.6 : 728.

#### Dic n      Ventilation. Séchage.

166-66. Projet de conditionnement d'air d'un hôtel (Hotel air conditioning planned). MATZEN (H. B.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 110-112, 5 fig. E. 24685. CDU 728.54 : 697.974.

167-66. Nouvelle conception dans la construction des gaines de ventilation (Neuere Entwicklung von Lüftungskanälen). GRIMBERG (Th.); *Heiz-Lüft-Haustech.*, All. (mars 1953), vol. 4, n° 2, p. 47-48, 8 fig. E. 24556. CDU 697.922.

168-66. Problèmes de ventilation des tunnels pour autoroutes (Problemi di ventilazione delle gallerie autostradali). CODEGONE (C.); *Atti Rass. tec.*, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 41-46, 16 fig., 1 réf. bibl. E. 24691. CDU 624.19 : 697.9.

169-66. La ventilation des tunnels d'autoroutes (Ventilazione delle gallerie autostradali). *Strade*, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 44. E. 24665. CDU 697.8 : 624.19.

170-66. Niveaux de bruit des ventilateurs (Fan sound levels). BLAKE (J. E. T.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (mars 1953), vol. 26, n° 309, p. 415-421, 7 fig., 1 réf. bibl. E. 24652. CDU 697.945 : 534.83.

#### Did      ÉCLAIRAGE

171-66. Réglage et orientation de la lumière du jour au moyen de paralumes (Controlling and redirecting daylight by means of louvers). BULL (H. S.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (jan. 1953), vol. 48, n° 1, p. 25-32, 12 fig., 1 réf. bibl. E. 24264. CDU 696.92.

172-66. Réalisation d'un éclairage diurne de qualité dans les salles de classe (The attainment of quality daylighting in school classrooms). BOY (R. A.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (jan. 1953), vol. 48, n° 1, p. 15-22, 8 fig., 6 réf. bibl. E. 24264. CDU 696.93 : 727.1.

173-66. Éclairage de l'aire de chargement de l'aéroport de Pittsburgh (Lighting the loading apron at greater Pittsburgh airport). TUCK (D. H.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (jan. 1953), vol. 48, n° 1, p. 3-5, 8 fig. E. 24264. CDU 696.93 : 629.139.1.

174-66. Nouvelle technique pour l'étude de l'éclairage diurne. Enregistreur photographique et instruments pour mesurer la brillance (A new daylighting survey technique utilizing a photographic recorder and physical brightness meters). BILLHARTZ (W. H.), KINGSBURY (H. F.), Mc KINLEY (R. W.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (jan. 1953), vol. 48, n° 1, p. 6-12, 9 fig., 13 réf. bibl. E. 24264. CDU 696.93.

175-66. Une méthode basée sur l'évaluation en lumens pour les projets relatifs à l'éclairage diurne (A lumen method of daylighting design). BIESELE (R. L. Jr.), ARNER (W. J.), CONOVER (E. W.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (jan. 1953), vol. 48, n° 1, p. 39-48, 7 fig., 15 réf. bibl. E. 24264. CDU 696.93.

#### Did      PROTECTION CONTRE LES DÉORDRES ET ACCIDENTS

#### Dif j      Protection contre le bruit et les vibrations.

176-66. Insonorisation des locaux de mécanographie et de comptabilité moderne. GRUZELLE (R.); *Constr. mod.*, Fr. (avr. 1953), n° 4, p. 129-130, 4 fig. — Emploi de panneaux de feutre semi-rigide de fibres de verre imprégnées de résines synthétiques, avec recouvrement de plaques perforées. E. 25020. CDU 691-758.34.

#### Dif l      Protection contre l'incendie.

177-66. Sécurité incendie dans le bâtiment. La prévention du feu dans la République Fédérale Allemande. SCHUBERT (R.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr., n° 17, Cah. 161, 10 p., 10 fig. E. 24813. CDU 699.81 : 614.84 : 728.

178-66. Organisation des recherches relatives à l'incendie (Joint fire research organization). CLARKE (S. H.); *Fire Protect. Ass.*, G.-B. (1953), n° 15, 9 p., 7 fig. E. 24205. CDU 699.81 : 614.84.

179-66. Comment éviter les incendies dus à l'emploi du matériel de découpage, de soudage et de rivetage et des lampes à souder (The prevention of fires caused by the use of cutting, welding and riveting equipment and of blow lamps). *Fire Protect. Ass.*, G.-B. (1953), n° 17, 5 p., 1 fig. E. 24402. CDU 699.81 : 614.84.

180-66. Reconstruction d'un bâtiment en ciment armé après un incendie (The reconstruction of a reinforced concrete building after fire). MASON (A. P.), LANE (E. W.); *Reinf. Concr. Rev.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 2, n° 10, p. 667-676, 6 fig. E. 24634. CDU 614.84 : 728 : 690.593.

181-66. Revêtements combustibles dans les maisons d'habitation (Combustible linings in dwelling houses). *Fire Protect. Ass.*, G.-B. (1953), n° 16, 9 p., 12 fig. E. 24401. CDU 699.81 : 614.84.

#### Dif m      Protection contre les séismes, inondations.

182-66. Nouveaux tunnels sur la route de Flexen (Neue Galerien an der Flexenstrasse). NETZER (J.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (mars 1953), n° 3, p. 67-68, 5 fig. — Tunnels de raccourcis ou de protection contre les avalanches sur une route du Vorarlberg (Autriche). E. 24543. CDU 624.19 : 625.731.

#### Dig I      CANALISATIONS

183-66. Débitmètre à contraction pour les mélanges d'eau et de matériaux. *Houille blanche*, Fr. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 58-63, 8 fig. E. 24679. CDU 621.643 : 533.6.

184-66. Méthodes pour l'étude de la flexibilité des tuyauteries. Méthode graphoanalytique (Methods of making piping flexibility analyses. The grapho-analytical method). MC CUTCHAN (A.), GREGORY (W. P.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 92-97, 14 fig., 4 réf. bibl. E. 24685. CDU 621.643 : 518.5.

185-66. Les coefficients de perte de charge des grandes conduites fonctionnant sous pression. REMENIERAS (G.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (mars 1953), t. 8, n° 3, p. 86-92, 8 fig., 1 réf. bibl. E. 24717. CDU 628.15 : 627.84.

#### Do      ENTREPRISES. ORGANISATION. MAIN-D'ŒUVRE.

186-66. La productivité dans le bâtiment. DURWELL; *Monit. Trav. publ. bâtim.*, Fr. (28 mars 1953), n° 13, p. 16-17. — Personnel, équipement de l'entreprise, technique de son organisation. E. 24682. CDU 690.022 : 728.

187-66. La coordination par la modulation dans le bâtiment (Modular co-ordination in building). *Engineering*, G.-B. (13 mars 1953), vol. 175, n° 4546, p. 342. E. 24559. CDU 690.022 : 728.

188-66. Réduction du coût de la construction par des méthodes modernes (Baukostenverbilligung durch moderne Bauweisen). MACULAN (R.); *Österr. Bauztg*, Autr. (7 mars 1953), n° 10, p. 6-8, 13 fig. E. 24481. CDU 690.031 : 728.3.

#### Dod      MATÉRIEL ET OUTILLAGE

189-66. Nouveautés intéressantes la construction à l'Exposition automobile (Was bringt die IAA Neues für die Bauwirtschaft?). HALLER (R.); *Bauwirtschaft*, All. (26 mars 1953), n° 12-13, p. 290-297, 26 fig. — Nombreux types de camions. E. 24671. CDU 629.1.

190-66. Le succès d'une installation d'air comprimé dépend de sa tuyauterie de distribution (Compressed air plant's success depends on distribution piping). *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 25, n° 3, p. 120-121, 3 fig. (Tiré de : « Compressed Air Power in Industrial Product », publié par : « Compress. Air Gas. Inst. », fév. 1953.) E. 24685. CDU 621.51 : 621.643.

191-66. Le matériel français de levage et de manutention. Année 1952, 1 vol., 217 p., nombr. fig. L'Industrie française des matériaux de génie civil. Année 1952, 1 vol., 177 p., nombr. fig. Éd. : Syndic. nation. Industr. Equip. M. T.-P. S., Paris. — Voir analyse détaillée B-862 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 65. — E. 24596, 24597.

CDU 621.874-7/8 (02).

192-66. Les engins mécaniques de chantier. Excavation, transport, remblayage, damage, équipement accessoire et organisation. GABAY (A.), BIAGGI (P.), LAVATER (E.). Éd. : Libr. Univ., F. Rouge et C°, S. A., Lausanne, Suisse (1952), 1 vol., VIII + 357 p., 682 fig. — Remarques préliminaires sur la nature des sols. Appareils de terrassement et d'excavation : tracteurs et leur moteur; appareils de transport (remorques, dumpers, scrapers); éléments de calcul de la puissance et du débit; renfouleurs (bulldozers); graders, appareils divers (désagrégateurs, dameurs, chargeurs); appareils racleurs à câble; excavateurs. Frais d'opération; service et entretien des engins; câbles, combus-

tibles et lubrifiants. Bibliographie. E. 24875. CDU 621.7/8 (02).

193-66. Problèmes de l'emploi des machines pour la construction dans l'industrie moderne du bâtiment. I-II. (fin) (Maschinenbauliche Aufgaben in der neuzeitlichen Bauindustrie). PILNY (F.); Z. Österr. Ingr.-Architekten-Ver., Autr. (3 mars 1953), n° 5-6, p. 42-47, 19 fig., 1 réf. bibl.; (3 avr. 1953), n° 7-8, p. 66-70, 12 fig., 1 réf. bibl. E. 24408-24765. CDU 728 : 621.7/8.

194-66. Des inspections sévères du matériel permettent d'éviter les pannes (Let's avoid breakdowns, men!). DAY (R.); Excav. Engr, U. S. A. (mars 1953), vol. 47, n° 3, p. 30-37, 11 fig. E. 24730. CDU 621.7/8.

195-66. Emploi économique des matériaux lourds de terrassement et leur entretien sur le terrain (Economic use of heavy earth-moving equipments and field maintenance thereof). MEIGHAN (B. J.); Proc. Instn civ. Engrs, G.-B. (avr. 1953), (Part. III : Engng Div.),

vol. 2, n° 1, p. 57-97. 17 fig. E. 24871. CDU 621.879 : 624.13.

196-66. Comment augmenter le rendement des installations de concasseurs à marteaux (Ein Mittel zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Hammerbrecheranlagen). WÄBER (H. G.); Zement-Kalk-Gips, All. (mars 1953), n° 3, p. 78-80, 5 fig., 1 réf. bibl. (résumés anglais et français). E. 24688. CDU 621.873.

197-66. L'emploi des draglines à câbles et les mesures de sécurité. ROUHIER (F.); Monit. Trav. publ. Bâtim., Fr. (14 mars 1953), n° 11, p. 17, 19, 21, 23, 25, 5 fig. E. 24518. CDU 621.874 : 621.879 : 624.13.

198-66. Voies en béton armé pour ponts roulants. STAUB (A.); Tech. Trav., Fr. (mars-avr. 1953), n° 3-4, p. 126-128, 5 fig. E. 24629. CDU 621.874 : 693.95.

199-66. Des outils bien étudiés accélèrent le fonçage des pieux (Clever tools speed pile driving). Excav. Engr, U. S. A. (mars 1953), vol. 47, n° 3, p. 22-29, 17 fig. E. 24730. CDU 621.9 : 624.154.15.

## F. — LES OUVRAGES

200-66. Constructions routières et industrielles aux U. S. A. (Verkehrs-und Industriebauten in den U. S. A.). FROMMHold (H.); Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 4, p. 155-159, 18 fig. — Garages et parcs, stations d'autobus, laboratoires de recherches, usine Ford. E. 24805. CDU 690.2 : 72.

### Fab ÉCHAFAUDAGES. ÉTAIEMENTS. BOISAGES

201-66. Cintres, échafaudages, étalements et reprises en sousœuvre (Lehr- und Arbeitsgerüste. Absteifungen, Unterfangungen). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 4, p. 173-175, 14 fig. E. 24805. CDU 690.592.2.

### Fac ÉLÉMENTS PORTEURS

#### Fac j Ossatures. Piliers. Colonnes.

202-66. Piliers maçonnés (Gemauerter Pfeiler). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 124-127 de 16 fig. Norme allemande DIN. 1053 : — Hauteurs et charges admissibles. E. 24572. CDU 690.237.52 : 693.2 : 690.46.

203-66. Quelques eas de recherche graphique des contraintes dans une pile supportant une charge excentrée. Extension au domaine plastique. LAPONCHE (R.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (juin 1953), n° 66 (Théories et méthodes de calcul n° XX), p. 559-608, 24 fig. — Détermination graphique des contraintes dans une pile homogène soumise à une charge excentrée. Cas d'une section rectangulaire et d'une section en forme de parallélogramme. Dans l'hypothèse d'une section ayant un axe de symétrie dans lequel agit la charge, on étend la construction au cas où la matière travaille en partie dans le domaine plastique. E. 25040. CDU 690.237.52 : 518.3.

204-66. Les « Curtain Walls ». Utilisation de panneaux en tôle d'acier pour la construction des murs aux États-Unis. O. T. U. A., Fr., 8 p., 16 fig. — « Murs Rideaux ». Accrochage des panneaux à l'ossature; suppression de la condensation à l'intérieur des panneaux; opposition à la pénétration de l'humidité à l'intérieur des panneaux; réalisation de l'isolation thermique et acoustique et de la résistance

au feu. Description de quelques types de « Curtain Walls ». E. 24733. CDU 691.41 : 691.7.

205-66. Influence complexe des murs en pans de briques (sur la stabilité des constructions) (Composite action of brick panel walls). Civ. Engng, G.-B. (fév. 1953), vol. 48, n° 560, p. 153. (Tiré de « Nation. Build. Res. » Pap. n° 13). — L'influence réciproque des planchers et des murs modifie les charges effectivement transmises aux poutres. Expériences faites pour la déterminer. E. 24159. CDU 690.22 : 691.421.

206-66. Construction moderne des murs (Neuzeitlicher Mauerwerksbau). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 100, 7 fig. — Nouvelles normes allemandes permettant de réaliser des économies de matériaux. E. 24572. CDU 690.22 : 728 : 690.022.

207-66. Maçonnerie. Épaisseur des parois (Mauerwerk, Wanddicken). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 123, 11 fig. Norme allemande, DIN 1053. E. 24572. CDU 690.22 : 693.2.

208-66. Remplacement des parois extérieures des bâtiments en acier par des murets à éléments articulés (Chiusura delle pareti esterne di ossatura in acciaio con muratura ad elementi articolati). TODESCHINI (G.); Costr. metall., Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 18-20, 9 fig. E. 24724. CDU 690.22 : 691.32-412.

209-66. Instructions sur les murs massifs dans la construction des habitations (Merkblatt Massivwände in Wohnungsbau). Dtsch. Bauz., All. (1<sup>er</sup> fév. 1953), n° 2, p. 68-69, 2 fig. E. 24422. CDU 690.22.

210-66. Conduits à gaine collectrice et départs individuels. Cah. C. S. T. B., Fr., n° 17, Cah. 160, p. 1-3. — Vœu de la Commission consultative des conduits de fumée. Prescriptions techniques pour l'établissement des conduits de fumée à gaine collectrice et départs individuels. E. 24813. CDU 697.81 : 331.14.

211-66. Réglementation des conduits de fumée. Cah. C. S. T. B., Fr., n° 17, Cah. 160, p. 4-5. — Texte d'une Ordonnance du Préfet de Police (Paris) du 3 janvier 1953, modifiant certaines règles concernant les boisseaux et les matériaux pour conduits de fumée. Comparaison des Ordonnances de 1906 et de 1953. E. 24813. CDU 697.81 : 331.14.

212-66. Conduits de fumée de section inférieure à 400 cm<sup>2</sup>. Ordonnance de Police du

3 janvier 1953 modifiant l'Ordonnance du 27 mars 1906 (B. M. O. du 29 janvier 1953). Sanit. Cow. Chauff., Fr. (mars 1953), n° 3, p. 4, 6, 8, 3 fig. — Texte de la nouvelle Ordonnance. Observations de la Chambre syndicale des Installateurs de Chauffage sur son application. Constructions neuves. Reconstruction de conduits. Appareils fonctionnant au gaz. E. 24796. CDU 697.8 : 331.14.

213-66. Le tirage des cheminées et son importance pour les foyers domestiques (Der Schornsteinzug und seine Bedeutung für häusliche Feuerstätten). Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 9-10. (Tiré de : « HKI », 1951, n° 2). — Énergie à demander à la combustion pour assurer le tirage. Conséquence pour le tuyau de raccordement du poêle à la cheminée. Production du bistro. Étanchéité indispensable des appareils. E. 25055. Trad. I. T. 349, 3 p. CUD 697.81.

214-66. Existe-t-il encore des chefs fumistes qui recommandent le conduit unitaire ? (Gibt es noch Schornsteinfeuermeister, die den Sammelschornstein befürworten ?). Gross (R.); Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 10-11. — Étude critique du conduit unitaire. Nécessité d'une section de conduit assez réduite pour favoriser le tirage et éviter les dépôts dans les cheminées. E. 25056. Trad. I. T. 350, 3 p. CUD 697.81.

215-66. La construction des cheminées aux U. S. A. (Die Schornsteinbauweise in den U. S. A.). MÜLLER (B. W.); Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 12-13, 2 fig. — Utilisation de tuyaux de terre cuite ou de canaux de chamotte pour exécuter les conduits de fumée. Nettoyage de la cheminée par aspirateurs de poussières ou combustion de produits chimiques. E. 25057. Trad. I. T. 351, 3 p. CUD 697.81.

216-66. Autorisation de fabrication et d'emploi de matériaux pour la construction des cheminées (Zulassung von Schornsteinbaustoffen); Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 14-16, 46 fig. — Modèle de décision d'autorisation accordée à un constructeur pour la fabrication et l'emploi d'éléments pour cheminées, de un à trois conduits, à doubles parois. E. 25058. Trad. I. T. 352, 5 p. CUD 697.81.

217-66. Causes des perturbations de tirage dans les cheminées. Comment les reconnaître et y porter remède (Ursachen für Zugstörungen

am Schornstein Wie erkennt man sie und schafft Abhilfe). *Tech. Schronsteinfegerhandwerk* All. (1953), n° 3, p. 19-20, 8 fig. — Règles fondamentales à observer pour obtenir un fonctionnement convenable d'un foyer domestique. Défaits de construction des cheminées. Entrée d'air dans la cheminée. Causes, remèdes. E. 25044. Trad. I. T. 355, 6 p. CUDU 697.81.

218-66. Contribution à l'étude des régulateurs de dépression dans les conduits de fumée (Zur Bewertung von Nebelunter-Schornsteinzuggleichern). *RULLKÖTTER* (F.); *Heiz.-Lüft.-Haustechn.*, All. (mars 1953), vol. 4, n° 2, p. 49-51, 1 fig., 3 réf. bibl. E. 24556. CUDU 697.81.

219-66. La question de la réglementation pour la fabrication des conduits de fumée maçonnés de faible section (Die Frage der Regelung für die Herstellung gemauerter, enger Rauchfänge). *HAUSCHKA* (F.); *Oesterr. Bauztg.*, Autr. (28 fév. 1953), n° 9, p. 5-6. E. 24377. CUDU 697.81 : 331.14.

#### Fac l Poutres. Dalles. Planchers.

220-66. Résistance à la rupture et résistance à la fissuration de poutres légèrement armées (Ultimate strength and cracking resistance of lightly reinforced beams). *LASH* (S. D.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 573-582, 10 fig., 8 réf. bibl. E. 24719. CUDU 690.237.22 : 691.32.

221-66. Comportement de poutres composées en T avec armatures précontraintes et non précontraintes (Behavior of composite T-beams with prestressed and unprestressed reinforcement). *REVESZ* (S.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 585-592, 12 fig., 1 réf. bibl. E. 24719. CUDU 690.237.22 : 691.32.

222-66. Évidements pratiques dans les âmes de poutres en tôle mince et leur renforcement (Ausschnitte im dünnen Stegleich und ihre Bewehrung). *DIETZMANN* (A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 61-66, 21 fig., 1 réf. bibl. (Tiré de : « Technik », 1952, vol. 7, n° 2, p. 55-58). E. 24641. CUDU 690.237.22 : 691.7.

223-66. De la contribution offerte à la résistance des poutres porteuses par une tôle d'acier ondulée dans les deux sens et utilisée comme membrure. I. [Über die mittragende Wirkung einer zweiaxial gewellten Stahlplatte (« Wellenstahlplatte ») als Gurt von Trägern]. *WEBER* (C.); *Bauingenieur*, All. (mars 1953), n° 3, p. 81-87, 13 fig. E. 24628. CUDU 690.237.22 : 691.71.

224-66. L'étude des portiques rigides en travées multiples (The analysis of multi-bay gabled rigid frames). *BOLTON* (A.); *Struct. Engr.*, G.-B. (avr. 1953), vol. 31, n° 4, p. 110-117, 16 fig., 1 réf. bibl. E. 24731. CUDU 693.9 : 518.5.

225-66. Calcul des portiques à plusieurs étages par approximations successives (Berechnung der mehrstöckigen Rahmen in schrittweiser Annäherung). *SCHADOURSKY* (V.); *Bauingenieur*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 113-114, 7 fig., 2 réf. bibl. E. 23061. CUDU 693.9 : 518.5.

226-66. Le calcul numérique du flambage des portiques d'après un procédé statique d'approximations successives (Die numerische Behandlung der Rahmenknickung nach einem statisch gedeuteten Verfahren der schrittweisen Näherungen). *HOYDEN* (A.), *WILKES-MANN* (F. W.); *Bauingenieur*, All. (mars 1953), n° 3, p. 75-80, 23 fig., 5 réf. bibl. E. 24628. CUDU 693.9 : 518.5.

227-66. Emploi de la méthode de l'égalisation des moments pour le calcul des portiques susceptibles de déplacements latéraux (Berechnung verschiedlicher Rahmentragwerke nach dem Momentenausgleichsverfahren). *OSWALD* (E.); *Bautechnik*, All. (mars 1953), n° 3, p. 60-65, 17 fig., 2 réf. bibl. E. 24420. CUDU 693.9 : 518.5.

228-66. Étude sur modèles réduits de planchers dalles. *BONVALET* (Ch.), *CAKIROGLU* (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juillet-août 1953), n° 67-68 (Essais et mesures XXVI), p. 673-696, 51 fig. — Étude sur modèles réduits d'une plaque appuyée sur trois rangées de six poteaux non encastres et d'une plaque reposant sur des appuis simples continus en bordure et sur une rangée médiane de six poteaux non encastres. Évaluation précise des moments fléchissants à la périphérie des poteaux. Influence d'une dénivellation d'un poteau. E. 25041. CUDU 690.25 : 620.015.7.

229-66. Planchers préfabriqués en béton armé. *DEBELVALET* (J.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr., n° 17, Cah. 158, 20 p., 33 fig. — Prescriptions techniques de fabrication et de mise en œuvre. Modalités des contrôles de qualité des éléments préfabriqués intervenant dans la construction de planchers en béton armé; principales règles à observer lors de leur mise en œuvre. Considérations qui ont motivé certaines prescriptions particulières. E. 24813. CUDU 620.251 : 690.013.

230-66. Le plancher « Q » aux États-Unis (Q-Floor in U. S. A.). *WEISS* (W.); *Bauingenieur*, All. (mars 1953), n° 3, p. 73-75, 11 fig. — Type de plancher nouveau déjà très répandu aux États-Unis. Il se compose de cellules d'acier formées par des tôles profilées en forme d'U et juxtaposées. Grande capacité portante et légèreté. E. 24628. CUDU 690.25 : 691.71.

231-66. Planchers massifs dans les habitations (Massivdecken im Wohnungsbau). *OHHLIC* (R.); *Bauwirtschaft*, All. (7 mars 1953), n° 10, p. 224-225. E. 24407. CUDU 690.25.

232-66. Nouveau type de plancher (Eine neue Deckenkonstruktion). *Oesterr. Bauztg.*, Autr. (7 mars 1953), n° 10, p. 5, 3 fig. E. 24481. CUDU 690.25.

#### Fac m Toitures. Vôûtes. Dômes. Coupoles. Arcs.

233-66. Poutres de toiture en aluminium (Aluminium roof girders). *Engineer*, G.-B. (10 avr. 1953), vol. 195, n° 5072, p. 530, 1 fig. E. 24888. CUDU 690.24 : 691.77.

234-66. Le levage d'un toit de 525 m<sup>2</sup> de surface sur une hauteur de 5,5 m (Die Hebung eines Daches von 525 m<sup>2</sup> Fläche im 5,5 m). *HILTEBRAND* (H.); *Stahlbau-Bericht*, Suisse (mars 1953), n° 15, 11 p., 9 fig. E. 24850. CUDU 690.24 : 690.595.

235-66. Pente, utilisation et coût de construction des toits dans la construction des habitations (Dachneigung, Dachnutzung und Dachbaukosten im Wohnungsbau). *KRÄNTZER* (K. R.); *Bauwirtschaft*, All. (7 mars 1953), n° 10, p. 218-223, 14 fig., 7 réf. bibl. E. 24407. CUDU 690.24 : 657.47.

236-66. Des poutres en treillis en aluminium supportent le toit d'un hangar (Aluminium trusses carry hangar roof). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 mars 1953), vol. 150, n° 11, p. 66, 68-69, 2 fig. — Usine de Havilland, Angleterre. La portée de 66 m est, dit-on, la plus grande réalisée actuellement. E. 24687. CUDU 690.24 : 693.97.

237-66. L'étanchéité des toitures-terrasses (Die Abdichtung von Dachterrassen). *LUFSKY* (K.); *Bauplan. Bautech.*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 69-74, 26 fig., 7 réf. bibl. E. 24641. CUDU 690.243 : 699.82.

238-66. Étude sur la voûte en briques creuses. *MIFSUD* (Ch.); *Tuiles. Briques*, Fr. (jan.-fév.-mars 1953), n° 13, p. 15-16, 1 fig. E. 24674. CUDU 690.236 : 691.421-478.

239-66. Aspects de la construction des voûtes minces (Construction aspects of thin-shell structures). *TEDESKO* (A.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 505-520, 21 fig. — Cintres; acier d'armature; bétonnage;

décrinfrage et déplacement des coffrages. Détails. E. 24719. CUDU 690.244 : 693.55.

240-66. Constructions en voûtes minces de béton armé (Reinforced concrete thin shell structures). *WHITNEY* (Ch. S.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 521-536, 21 fig. — Divers types existants. Tableau présentant un grand nombre de réalisations, avec leurs dimensions, leur nombre de travées. E. 24719. CUDU 690.244 : 693.55.

241-66. Le béton préfabriqué offre de nouvelles possibilités pour l'étude des voûtes minces (Precast concrete offers new possibilities for design of shell structures). *NERVI* (P. L.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 537-548, 24 fig. — Combinaison du béton préfabriqué et du béton monolithique. Application de la préfabrication aux surfaces courbes. Éléments ondulés préfabriqués. E. 24719. CUDU 690.244 : 693.55.

242-66. Calcul des voûtes minces prismatiques (Design of prismatic shells). *CRAEMER* (H.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1953), vol. 24, n° 6, p. 549-563, 15 fig., 3 réf. bibl. E. 24719. CUDU 690.244 : 518.5.

243-66. Particularités d'une usine à Brynmawr (Payne de Galles). Toitures de voûtes minces en béton (Factory at Brynmawr. Features thin shell concrete roofs). *Constr. Rev.*, Austral. (jan. 1953), vol. 25, n° 9, p. 16-18, 3 fig. E. 24532. CUDU 690.244 : 693.55.

244-66. Voûtes en maçonnerie (Gemaerte Gewölbe). *Dtsch. Bauz.*, All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 119, 16 fig. Normes allemandes : DIN 1053 : voûtes et arcs; DIN 1075 : voûtes. E. 24572. CUDU 690.236 : 693.2.

245-66. Solution par itération de l'équation caractéristique pour les voûtes minces cylindriques (Die Auflösung der Charakteristischen Gleichung für Zylinder-Schalen durch Iteration). *BERGER* (E.-R.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (mars 1953), n° 3, p. 62-64, 3 réf. bibl. E. 24543. CUDU 690.244 : 693.55 : 518.5.

246-66. Nouveau développement de la théorie des voûtes minces (Zur neueren Entwicklung des Schalentheorie). *ZERNA* (W.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 88-89, 1 fig., 16 réf. bibl. E. 24877. CUDU 690.244 : 693.55.

247-66. Étude de trois arcs continus reposant sur deux colonnes intermédiaires (Analysis of arches continuing over three spans and supported on two intermediate columns). *MORGAN* (V. A.); *Concr. Constr. Engng*, G.-B. (mars 1953), vol. 48, n° 3, p. 105-115, 7 fig., 1 réf. bibl. E. 24509. CUDU 690.236 : 518.5.

#### Fad Éléments non porteurs

#### Fad j Cloisons. Plafonds.

248-66. La normalisation des plafonds (Zur Deckennormung). *BRÖCKER* (O.); *Betonst. Ztg.*, All. (mars 1953), n° 3, p. 89-90, 2 fig., 1 réf. bibl. (résumés anglais et français). E. 24625. CUDU 690.254 : 389.6.

#### Fad l Menuiseries.

249-66. Pièces moulées d'encadrement (de fenêtres) (Werkstein-Umräumungen). *Dtsch. Bauz.*, All. (1<sup>er</sup> mars 1953), n° 3, p. 110-111, nombr. fig. Norme allemande. E. 24572. CUDU 691.3 : 690.282.

250-66. Nouveautés dans la construction des fenêtres (Neuerungen im Fensterbau). *MERINSKY* (J.); *Oesterr. Bauztg.*, Autr. (4 avr. 1953), n° 14, p. 5. E. 24853. CUDU 690.282.

251-66. Fenêtres à châssis en béton et verre armé de fil de fer (Drahtglas-Betonrahmen-Fenster). *SPIEKERMANN* (H.); *Bauwirtschaft*, All. (4 avr. 1953), n° 14, p. 326-327, 4 fig., 7 réf. bibl. E. 24756. CUDU 690.28 : 693.5.

## Feb HABITATIONS

252-66. Principales modifications apportées aux règlements britanniques du Bâtiment par la révision de 1952 (Building byelaws; major changes in the 1952 revision). PHILLIPS (B. G.); *J. Instn munic. Engrs*, G.-B. (avr. 1953), vol. 79, n° 10, p. 477-484. E. 24873. CDU 728 : 690 : 331.14.

253-66. Construction de maisons modernes (Neuer Wohnbau). MITTAG (M.); *Dtsch. Bauz.*, All. (1er fév. 1953), n° 2, p. 58-61, 26 fig., 3 réf. bibl. E. 24422. CDU 728 : 720 : 389.6.

## Feb 1 Habitations individuelles.

254-66. Logements à un seul niveau isolé ou en bandes construits au Havre. Système « Thireau-Morel » (Quartier de la Hétraie). *Bâtiment*, Fr. (18 avr. 1953), n° 16, p. 11-12, 2 fig. E. 25039. CDU 728.3 : 690.022.

255-66. Maisons prototypes construites en 12 jours à Hemel Hempstead (Angleterre) (Prototype houses for Hemel Hempstead built in 12 days). *Architect*, G.-B. (26 mars 1953), vol. 203, n° 13, p. 375-380, 15 fig. — Maison double, à deux chambres à coucher par maison, intérieur préfabriqué. E. 24668. CDU 728.3 : 693.057.1.

256-66. Un nouveau principe pour la construction des maisons (Un nuevo principio para la construcción de casas). SINGER (O.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 164.2/1-164.2/4, 20 fig. — Système américain dit « élément coquille », simple et économique pour maisonnettes. E. 24412. CDU 728.3.

## Feb mo Immeubles de rapport.

257-66. Construction d'un groupe d'habitations à ossature métallique pour les cadres de la Société Lorraine de Laminage Continu à Thionville. PEISSI (P.); *Bâitr.*, Fr. (fév. 1953), n° 29, p. 25-27, 8 fig. E. 24681. CDU 728.2.

258-66. L'immeuble-tour du Montel (Saint-Étienne). *Bâtiment*, Fr. (11 avr. 1953), n° 15, p. 7, 1 fig. — Immeuble de treize étages. E. 24859. CDU 728.2.

259-66. Le nouveau bâtiment « Lever House » à New-York. *Ossature métall.*, Belg. (mars 1953), n° 3, p. 129-134, 8 fig. — Bâtiment de vingt-quatre étages à façades entièrement revêtues de verre. Ossature métallique à piliers en retrait sur le mur extérieur. Contreventement par cadres transversaux rigides. Planchers métalliques cellulaires avec dalle en béton. Revêtements extérieurs en verre teinté bleu. Allèges composées d'un verre armé, d'un vide d'air, d'une couche de plâtre, d'un panneau de laitier et d'un matelas de verre cellulaire. Conditionnement d'air. Échafaudage mobile pour entretien. Ascenseurs et transporteur de courrier. E. 24436. CDU 720.922.2.

260-66. Le gratte-ciel le plus élevé d'Europe est actuellement en construction à Milan (Il più grande grattacieli d'Europa e' attualmente in costruzione a Milano). *Corr. Costr.*, Ital. (12 mars 1953), n° 11, p. 6, 5 fig. — Vingt-cinq étages, plus deux étages en sous-sol. E. 24524. CDU 720.922.2 : 693.97.

261-66. Une formule de logement économique : à Bordeaux deux pièces pour 890 000 F. THORAVAL (P.); *J. Constr. Suisse romande*, Suisse (mars 1953), n° 3, p. 148-150, 3 fig. E. 24654. CDU 728.2 : 657.47.

## Feb BATIMENTS CULTURELS

262-66. Installations sanitaires et chauffage à l'Exposition des constructions scolaires et universitaires. *Sanit. Cow. Chauff.*, Fr. (mars 1953), n° 3, p. 12-14, 51. — Rareté du sanitaire. Installations du primaire et du secondaire; du technique; des gymnases. Évacuation des eaux usées. Passage des canalisations. chauffage par le sol, par rayonnement. L'air pulsé. Chauffage par infra-rouge; des bibliothèques. Conditionnement d'air. Chauffages divers. Isolation thermique. E. 24796. CDU 727.1 : 696.1 : 697.

263-66. Bassins de natation peu coûteux construits avec la gunite (Low-cost swimming pools constructed with gunite). *Constr. Rev.*, Austral. (fév. 1953), vol. 25, n° 10, p. 16-18, 3 fig. E. 24828. CDU 725.74 : 693.625.

## Feb OUVRAGES D'UTILITÉ PUBLIQUE

## Feb la Alimentation en eau.

264-66. L'eau à la campagne. I. II. CHABOT (J.); *Tech. Inform. Chauff. Plomberie*, Fr., nouv. sér. n° 2, p. 16-19, 21-23, 14 fig.; nouv. sér. n° 3, p. 12-13, 16-17, 19, 22-24, 21 fig. E. 23765, 23963. CDU 628.1 : 63 : 728.6.

## Feb m Hygiène publique.

265-66. Assainissement et traitement des eaux d'égouts (Sewerage and sewage treatment). BABBITT (H. E.). Ed. : John Wiley and Sons, New-York, U. S. A. (1953), 7<sup>e</sup> édit., 1 vol., IX + 674 p., 341 fig., 34 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-864 au chap. III « Bibliographie ». E. 24746. CDU 628.3 (02).

266-66. Egouts publics. Épuration. XI (fin). DUBOSCH (Ch.); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (déc. 1952), n° 6, p. 899-915, 2 fig., 1 réf. bibl. E. 24831. CDU 628.3.

267-66. Petites installations pour le traitement des eaux usées (Code 302 100) (Small sewage treatment works). *Brit. Stand. Code Pract.*, G.-B. (1953), CP(B) 1113, 20 p., 7 fig. E. 24609. CDU 628.3.

268-66. Installation d'un double filtrage alterné à l'usine d'eaux résiduelles de Bedford (Angl.) (Alternating double filtration at Bedford sewage works). NORRIS (W. H.); *J. Instn munic. Engrs*, G.-B. (mars 1953), vol. 79, n° 9, p. 438-444, 5 fig. E. 24403. CDU 628.3.

269-66. Les conditions à marée montante dans le cas de déversement des eaux résiduelles dans les fleuves soumis à la marée (Die Vorflutverhältnisse bei Einleitung von Abwässern in Tideflüsse). JANSSEN (Th.); *Wasserwirtschaft*, All. (mars 1953), n° 6, p. 139-146, 10 fig., 4 réf. bibl. E. 24557. CDU 628.3 : 526.99.

270-66. L'emmagasinage, l'enlèvement et l'utilisation des ordures domestiques (The storage, collection, and disposal of domestic refuse). COOPER DAWES (J.); *Proc. Instn civ. Engrs*, G.-B. (avr. 1953). (Part. III : Engng Div.), vol. 2, n° 1, p. 98-133, 5 fig., 8 fig. h. t. E. 24871. CDU 628.4.

## Feb n Génie rural. Irrigations.

271-66. Note sur un projet de répartition équitable de l'eau apportée par un canal d'irrigation. BOURRIER (J.); *Minist. Agric.* (Études, Trav. Centre Rech. Expériment. Génie rural), Fr. (13 mars 1953), 17 p., 2 fig. E. 24814. CDU 631.6 : 626.1.

## Feb OUVRAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

## Feb je Industrie.

272-66. Récentes créations industrielles et ouvrages en béton à Bromborough et Port Sunlight (Angleterre) (Recent industrial developments and concrete works at Bromborough and Port Sunlight). SNOW (F. S.); *Reinf. Concr. Rev.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 2, n° 10, p. 649-666, 16 fig. — Bâtiments de l'administration. Tour de réfrigération. Station centrale. Canal souterrain. Wharf. E. 24634. CDU 725.4.

273-66. Nouveaux bâtiments pour ateliers construits avec des éléments préfabriqués en béton armé (Neue Hallenbauten mit Stahlbeton-Fertigteilen). HEIDE; *Ester. Bauz.*, Autr. (21 mars 1953), n° 12, p. 6-8, 10 fig. E. 24645. CDU 725.4 : 693.55 : 693.057.1.

274-66. Pathologie de la construction. Quelques défauts courants des fabriques de briques (Patología de la construcción. Algunos defectos corrientes de las fabricas de ladrillo). BONELL (D. G. R.); PIPPARD (W. R.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 631.2/1-631.2/6, 24 fig. (Tiré de : « Nation. Build. Studies »). E. 24412. CDU 725.4 : 691.421.

## Feb 1 Dépôts de marchandises. Marchés

275-66. Nouveaux magasins métalliques du type « Quonset » (Nuevos almacenes metálicos tipo « Quonset »). *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 841.4/1-841.4/2, 4 fig. (Tiré de : « Engng News-Rec. »). — Construction très rapide de travées de 10,75 m d'ouverture. E. 24412. CDU 725.3 : 693.97.

276-66. La défaillance des fondations de l'élévateur à grains de Transcona (Canada) (The bearing-capacity failure of the Transcona elevator). PECK (R. B.); BRYANT (F. G.); Géotechnique, G.-B. (mars 1953), vol. 3, n° 5, p. 201-208, 7 fig., 3 réf. bibl. — Le déversement de l'élévateur à grains de Transcona, récit d'un témoin oculaire (Transcona elevator failure : eye-witness account). SCOTT WHITE (J.); p. 209-214, 10 fig. E. 24642. CDU 690.592 : 725.4.

277-66. Magasin à céréales au port de Mannheim (Hafenspeicher in Mannheim). KAUFMANN (H.); *Bauwirtschaft*, All. (14 mars 1953), n° 11 « Fortschrit. Leistung. Bauindustrie », n° 3, 4 p., 6 fig. — Capacité totale 20 000 t; construction en ciment armé. E. 24539. CDU 627.217.1 : 725.3.

## Feb m Commerce. Finances.

278-66. Description de l'immeuble des journaux Time-Life à Londres (Time-Life building, Bond Street, W. 1). *Architect*, G.-B. (5 mars 1953), vol. 203, n° 10, p. 281-296, nombr. fig. E. 24427. CDU 725.23.

## Feb n Production d'énergie. Barrages.

279-66. Production et transport de l'énergie électrique. LAJOUE (E.); *Tech. Archit.*, Fr. (mars 1953), n° 5-6, 12<sup>e</sup> sér., p. 32-112, nombr. fig. — Sources d'énergie; équipement. Équipement thermique, hydroélectrique. Transport; interconnexion; distribution. Réalisations récentes. Détails sur diverses installations électriques; réalisations françaises dans le domaine de l'hydraulique. E. 24838. CDU 621.3 : 627.8.

280-66. L'aménagement hydroélectrique du Portugal. PIERRARD (J.-M.); *Rev. Ecoles spéciales* (Bull. Etud.-Ingrs Univ. cathol. Louvain), Belg. (1953), n° 4, p. 243-249, 3 fig., 3 réf. bibl. E. 24146. CUDU 627.8.

281-66. Les conditions hydrauliques de l'accumulation d'eau continue. I. II. (fin) (Die Hydraulik der Durchlaufspeicherung). FRANK (J.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 39-44, 15 fig., 8 réf. bibl.; (mars 1953), n° 3, p. 87-91, 3 fig. E. 24236, 24268. CUDU 627.8 : 532.

282-66. Progrès réalisés aux États-Unis dans la conception et la construction de digues en terre. MIDDLEBROOKS (T. A.); *Bull. tech. Suisse romande*, Suisse (7 mars 1953), n° 5, p. 53-60, 11 fig., 11 réf. bibl. (Traduit par G. H. BEGUIN). — Étude de différents genres d'accidents survenus à des digues en terre par submersion, infiltration, rupture ou autres accidents aux conduites noyées; glissement; examen des différents types de construction: remblai cylindré, remblai hydraulique, digue en enrochements, diaphragme central et masque d'étanchéité. Améliorations désirables en ce qui concerne les évacuateurs de crues, les infiltrations, les conduites et la stabilité. Principes à observer. E. 24441. CUDU 627.8.

283-66. Pressions hydrodynamiques sur les barrages résultant des effets horizontaux des tremblements de terre (Hydrodynamic pressures on dams due to horizontal earthquake effects). ZANGAR (C. N.); U. S. Dept Inter. (Bur. Reclamat.), U. S. A. (mai 1952), Engng Monogr. n° 11, II + 15 p., 15 fig., 9 réf. bibl. — Aspects généraux de la question; explication des symboles utilisés dans l'ouvrage; théorie de la poussée des terres, ses intensités. Exemples d'application. E. 23425. CUDU 627.8 : 624.131.

284-66. Mise en place du béton au moyen d'estacades au barrage de Folsom (Californie) (Concrete placed off trestle at Folsom). *Constr. Methods*, U. S. A. (mars 1953), vol. 35, n° 3, p. 50-55, 12 fig. — Vues et légendes sur les opérations de terrassement et de bétonnage, le convoyeur. E. 24689. CUDU 627.8 : 691.32.

285-66. Recherches sur modèles pour le barrage de la vallée d'Oker (Allemagne) [Die Modelluntersuchungen für die Okertalsperre (Harz)]. PRESS (H.); *Bautechnik*, All. (mars 1953), n° 3, p. 57-60, 15 fig. E. 24420. CUDU 627.8 : 620.015.7.

286-66. Nouveaux barrages en Autriche. II. (fin) (Neuere Talsperrenbauten in Österreich). LINK (D. H.); *Bautechnik*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 96-103, 17 fig., 10 réf. bibl. — Barrage de Limberg : hauteur : 119 m, longueur à la crête : 354 m. Réservoirs de Mooserboden, de Margaritz; barrage de Möll, barrage-poids de 37 m de haut et 240 m de long à la crête. E. 24811. CUDU 627.8.

287-66. La chute de Donzère-Mondragon sur le Rhône. DELATTRE (P.); *Mém. Soc. Ingrs. civ. Fr.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 287-308, 10 fig. E. 24958. CUDU 627.8.

288-66. L'aménagement hydroélectrique Cap-de-Long-Pragnères, dans les Hautes-Pyrénées. I. II. III. (fin). COTILLON (J.); *Génie civ.*, Fr. (15 mars 1953), t. 130, n° 6, p. 101-106, 13 fig., 2 réf. bibl. (1<sup>er</sup> avr. 1953), n° 7, p. 126-131, 11 fig.; (15 avr. 1953), n° 8, p. 141-146, 12 fig. E. 24566, 24804, 24931. CUDU 627.8.

289-66. Le réservoir de Rossauhten, élément essentiel du programme du Lechs. (All.) I. (Der Speicher Rossauhten als Hauptglied für den Rahmenplan des Lechs). FROHNHOLZER (J.); *Wasserwirtschaft*, All. (avr. 1953), n° 7, p. 167-177, 15 fig., 10 réf. bibl. E. 24965. CUDU 627.8.

290-66. Le barrage de Serra sur le torrent « Grosswasser » dans la vallée de Zwischberg (Die Staumauer Serra am Grosswasser im Zwischbergental). GRUNER (G.); JAUSLIN (W.);

*Schweiz. Bauztg*, Suisse (14 mars 1953), n° 11, p. 159-163, 12 fig., 3 réf. bibl. — Barrage voûte de 17 m de hauteur et 75 m de longueur de crête. E. 24492. CUDU 627.8 : 693.5.

291-66. L'évolution de l'aménagement des usines hydroélectriques : l'usine et le barrage de Couesque, sur la Truyère. RENAUD (A.); *Tech. Trav.*, Fr. (mars-avr. 1953), n° 3-4, p. 105-125, 32 fig. — Barrage en voûte mince de 60 m de hauteur et 175 m de développement fondé sur granit. Ouvrages de vidange et de dérivation. Cheminées d'équilibre. Conduites forcées. Usine et poste de transformation. Équipement hydroélectrique. Comparaison avec l'usine de Sarrans. E. 24629. CUDU 627.8 : 690.244 : 693.55.

292-66. Les barrages en terre compactée. Pratiques américaines. POST (G.); LONDE (P.); Éd. : Gauthier-Villars, Paris (1953), 1 vol., 185 p., nombr. fig., 28 fig. h. t., 86 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-860 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 65. E. 24640. CUDU 627.8 : 691.41 (02).

293-66. Barrage en terre d'un type spécial construit par une Compagnie minière (Mining firm builds an unusual dam). BROOKS (T. T.); *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1953), vol. 28, n° 3, p. 63-65, 138, 5 fig. — Le tracé du barrage a été imposé par les conditions locales, notamment par une couche de basalte. Les ouvrages d'évacuation de l'eau sont tous en béton armé. Le profil du barrage terre comporte une largeur horizontale de 6,1 m à la crête et une pente de 3,1 de chaque côté. E. 24723. CUDU 627.8 : 691.41.

294-66. Les rouleaux à bandages pneumatiques font réaliser des économies de temps et d'argent dans la construction des barrages en terre (Pneumatic rollers cut costs and time on earthfill dams). BERTRAM (G. E.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (2 avr. 1953), vol. 150, n° 14, p. 30-32, 5 fig. E. 24941. CUDU 627.8 : 691.41.

295-66. Cheminée d'équilibre à la centrale de Coscile (Chimenea de equilibrio de la central de Coscile). *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 539.8/1, 2 fig. (Tiré de : « Beton-Stahlbetonbau »). E. 24412. CUDU 627.8.

296-66. Emploi de la méthode dite de pénétration au barrage de Bull Shoals (U. S. A.) (Empleo del hormigón por penetración en la presa de Bull Shoals). *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 539.9/1, 2 fig. (Tiré de : « Engng News-Rec. »). — Il s'agissait de recouvrir de béton les carcasses de quatre turbines de 10 000 ch. La méthode a consisté à recouvrir les turbines d'une couche de cailloux en ménageant des tuyaux pour injecter ultérieurement un mortier de ciment et des tuyaux de sondage munis de trous pour suivre la montée du mortier, enfin à injecter le mortier qui contient un agent spécial pour augmenter la fluidité et permettre de diminuer la proportion eau-ciment. E. 24412. CUDU 627.8 : 691.32.

297-66. La centrale hydroélectrique Sokolje (Yugoslavie) (Hidroelektrana « Sokolje »). DIDULICA (S.); *Elektroprivreda*, Yougosl. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 19-20, 2 fig. (résumés français et anglais). E. 24975. CUDU 627.8 : 621.311.21.

298-66. Similitude des écoulements sur les déversoirs en mince paroi aux faibles charges. SPRONCK (R.); *Rev. univers. Min. Métallurg. Trav. publ.*, Belg. (15 mars 1953), t. 9, n° 3, p. 119-124, 4 fig., 2 réf. bibl. E. 24601. CUDU 627.8 : 532.5.

299-66. Problème du revêtement des galeries forcées (Problem obloge tunela pod pritiskom). KUJUNDZIC (B.); *Elektroprivreda* Yougosl. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 16-18, 3 fig. (résumés français et anglais). E. 24975. CUDU 628.15 : 693.6 : 627.8.

## Fid VOIES DE COMMUNICATION

### Fid ja Routes.

300-66. L'influence économique et industrielle de la nouvelle construction des grandes routes (The economic and industrial effect of new highway construction). OTWAX (P. M.); *Civ. Engng. G.-B.* (mars 1953), vol. 48, n° 561, p. 239-243, 4 fig. E. 24569. CUDU 625.7/8 : 711.73.

301-66. Technique et construction de la route (Road engineering). LEEMING (E. L.); Éd. : Constable and Co, Londres, G.-B. (1952), 3<sup>e</sup> édit., 1 vol., x + 308 p., 171 fig., 4 fig. h. t., 10 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-867 au chap. III « Bibliographie ». E. 24843. CUDU 625.7/8 (02).

302-66. Les conditions hivernales en Bretagne et l'ingénierie des routes (Winter conditions in Great Britain and the highway engineer). PRICE (W. I. J.); *J. Instrn munic. Engrs*, G.-B. (avr. 1953), vol. 79, n° 10, p. 485-493, 7 fig., 17 réf. bibl. E. 24873. CUDU 625.7/8.

303-66. La mécanisation des chantiers de routes (La meccanizzazione dei cantieri stradali). TOCCHELLI (L.); *Strade*, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 33-39, 9 fig. E. 24665. CUDU 625.7/8 : 690.022.

304-66. Les courbes des routes à grand trafic (Highway curves). IVES (H. Ch.); 4<sup>e</sup> édit. : KISSAM (Ph.). Éd. : John Wiley and Sons, New-York, U. S. A. (1952), 1 vol., Texte : 222 p., 103 fig., 2 fig. h. t.; Tables : 364 p. — Voir analyse détaillée B-863 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 65. E. 24745. CUDU 625.731 : 526.9 (02).

305-66. Le Venezuela construit la nouvelle super-route de Caracas à La Guaira (Venezuela builds new Caracas-La Guaira superhighway). SIBLEZ (H.), SMILLIE (R.), PHINNEY (E. D.), FREYSSINET (E.); MULLER (J.), SHAMA (R.); Civ. Engng, U. S. A. (mars 1953), vol. 23, n° 3, p. 33-40, 98, 41-55, 48 fig. — La route la plus coûteuse du monde. Trois grands ponts en ciment armé, deux tunnels, des tranchées de 90 m de profondeur, des remblais de 45 m de haut. Détails de la construction des tunnels (8,7 m d'ouverture). Détails de la construction et du montage des trois ponts (portées : 152, 146 et 140 m), système Freyssinet. E. 24694. CUDU 625.7/8.

306-66. Règles pour la construction des fondations de routes (Norme per la costruzione delle massicciate). Strade, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 40-44, 1 fig., 1 réf. bibl. E. 24665. CUDU 625.731 : 389.64.

307-66. Le clinodraphe. SIMONIN (R. F.); Rev. gén. Routes aérod., Fr. (avr. 1953), n° 255, p. 41-42, 45-51, 11 fig., 3 réf. bibl. — Appareil pour relever rapidement les profils en long des chaussées et les accidents localisés de ces profils. E. 24990. CUDU 625.75 : 526.9.

308-66. Tours de main pour l'entretien des routes non pavées (Maintenance tips for unpaved roads). Calcium Chloride Inst., U. S. A. 35 p., 18 fig. — Le chlorure de calcium. But d'entretien. Entretien au printemps, en été et en automne. Questions spéciales. E. 23480. CUDU 625.75 : 627.5.

309-66. Consolidation et entretien de la surface des routes par le chlorure de calcium (Surface consolidation and maintenance with calcium chloride). Calcium Chloride Ass., U. S. A., édit. 1946, bull. n° 29, 57 p., nombr. fig. — Importance des liants. Proportion dans les mélanges. Malaxage et mise en place. L'humidité est un facteur essentiel au moment du compactage et dans l'entretien de la route. Emploi du chlorure de calcium; son effet stabilisateur. Entretien. Réfection de la surface. E. 23481. CUDU 625.75.

310-66. Appareils de finition pour revêtements en béton ou goudronnés (Fertiger für Beton-und Schwarzdecken). RIEDIG (B.); *Strassen-Tiefbau*, All. (mars 1953), n° 3, p. 80-84, 19 fig. E. 24657. CDU 625.75 : 625.8.

311-66. Nouvelles constructions de routes en Bavière avec des couches portantes consolidées mécaniquement (Strassenneubauten in Bayern mit mechanisch verfestigten Tragschichten). JELINEK (R.); *Bitumen*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 25-29, 13 fig., 1 réf. bibl. E. 24537. CDY 625.75 : 624.138.

312-66. Mode d'établissement du macadam dans la construction moderne des routes (Die Makadambauweise im neuzeitlichen Strassenbau). GRÜNDL; *Bitumen*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 30. E. 24537. CDU 625.82 : 691.161.

313-66. Le « curing » des revêtements en béton aux U. S. A. Rev. gén. Routes aérod., Fr. (avr. 1953), n° 255, p. 85, 87. (Tiré de « Highway Research Board » : Curing of concrete pavements). E. 24990. CDU 625.84 : 693.54.

314-66. Résultats d'un revêtement d'essai en béton aux cendres volantes, établi en 1938 (Experience with fly-ash blends in a test pavement built in 1938). MC CLENAHAM (W. T.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 mars 1953), vol. 150, n° 11, p. 32-34, 2 fig. E. 24687. CDU 625.84 : 693.54.

315-66. Construction des revêtements en béton en appliquant une mécanisation restreinte (Izrada betonskih puteva sa upotreboom male mehanizacije). TRBOJEVIC (B.); *Tehnika*, Yougosl. (1952), n° 9-10, p. 1113-1116, 22 fig. E. 24686. CDU 625.84 : 693.54.

316-66. Méthode d'établissement de courbes granulométriques des agrégats pour le béton bitumineux (Plotting aggregate gradation specifications for bituminous concrete). DALHOUSE (J. B.); *Publics Roads*, U. S. A. (avr. 1953), vol. 27, n° 7, p. 155-158, 6 fig., 1 réf. bibl. E. 24942. CDU 625.85 : 691.161.

317-66. Reconstruction de route d'après le procédé de réfection de la surface de roulement dit « Retread » (Strassenbau nach dem Retread-Verfahren). RUOFF (D. F.); *Bitumen*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 31-32, 2 fig. — Les appareils utilisés dans le procédé « Retread » (Der Geräteeinsatz beim Retread-Verfahren). GEORGY (W.); p. 36-38, 8 fig. E. 24537. CDU 625.85 : 691.161.

318-66. L'auto-route de Marseille (The Marseilles motorway). GRINDROD (J.); *Highw. Bridges Engng Works*, G.-B. (25 mars 1953), vol. 19, n° 976, p. 1, 3, 3 fig. E. 24666. CDU 625.7.

319-66. Garages et stations de service. DEFAY (A.); GODFREY (G. B.); PEISSI (P.); KOLLENBRUNNER (C. F.); *Ossature métall.*, Belg. (avr. 1953), n° 4, p. 189-220, 66 fig. — Constructions pour garages de véhicules automobiles en France et à l'étranger. E. 24816. CDU 725.382.

#### Fid ji      Voies ferrées.

320-66. L'arc de cloître utilisé pour le raccordement de transition des courbes des voies ferrées (L'arco di clostoide come racordo di transizione nelle curve ferroviarie). MARINELLI (G.); *Strade*, Ital. (fév. 1953), n° 2, p. 50-52, 1 fig. E. 25665. CDU 625.1 : 526.9.

321-66. Chemins de fer métropolitains souterrains de Madrid et de Barcelone et leurs enseignements pour le projet de Vienne (Die Untergrundbahnen von Madrid und Barcelona und ihre Lehren für das Wiener Projekt). BRUNNER (K. H.); Z. *Esterr. Ingr-Architekten-Ver.*, Autr. (3 avr. 1953), n° 7-8, p. 61-66, 8 fig., 1 réf. bibl. E. 24765. CDU 625.1.

#### Fid 1      Voies maritimes.

322-66. Les grandes lignes de la technique des ports (Lineamenti di tecnica portuale). GRECO (L.); *Ingegneria*, Ital. (mars 1953), n° 3, p. 263-280, 32 fig., nombr. réf. bibl. (résumé français). E. 24757. CDU 627.3.

323-66. Le projet de la nouvelle gare maritime du port d'Alger. LARRAS (J.); *Travaux*, Fr. (avr. 1953), n° 222, p. 255-258, 5 fig. E. 24637. CDU 627.3.

324-66. Dispositifs nouveaux réalisés dans le percement du grand canal souterrain de l'Ontario (New tunneling achievements reached in driving big Ontario hydro tubes). RICHARDSON (H. W.); *Constr. Methods*, U. S. A. (mars 1953), vol. 35, n° 3, p. 64-66, 68, 72-74, 76-77, 80, 18 fig. E. 24689. CDU 626.1 : 690.354.

325-66. La construction du canal du Danube à la mer Noire (The construction of the Danube - Black sea canal). CARDEW (J.); *Muck Shifter*, G.-B. I : (mars 1953), vol. 2, n° 3, p. 97-102, 7 fig. — Étendeue et objet de l'ouvrage. — II : (avr. 1953), n° 4, p. 147-152, 4 fig. — Machines utilisées. E. 24488, 24872. CDU 626.1.

326-66. Défense contre les éboulements sur le canal Rhin-Herne. I. II. (fin) (Ausgleich der Bergsenken am Rhein-Herne-Kanal). STALL (F. J.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1952), n° 2, p. 41-49, 10 fig.; (mars 1952), n° 3, p. 77-85, 20 fig., 1 réf. bibl. E. 23059, 23060. CDU 626.1 : 690.592.2.

327-66. Sur les formules de l'écoulement dans les canaux découverts (Zur Frage einheitlicher Fließformeln für offene Gerinne). KIRSCHMER (O.); *Wasserwirtschaft*, All. (mars 1953), n° 6, p. 146-151, 9 fig., 17 réf. bibl. E. 24557. CDU 626.1 : 532.5.

328-66. Protection des rives des canaux par les roseaux (Kanalversicherung mit Schilfrohr). ARENS; *Wasserwirtschaft*, All. (mars 1953), n° 6, p. 151-158, 10 fig., 5 réf. bibl. E. 24557. CDU 626.1.

329-66. Etudes sur modèle réduit pour les vannes des aqueducs de l'écluse de la Sambre à Namur. LAMOEN (J.); *Rev. univers. Min. Metallurg. Trav. publ.*, Belg. (15 mars 1953), t. 9, n° 3, p. 127-143, 37 fig., 2 réf. bibl. E. 24601. CDU 626.42 : 620.015.7.

330-66. Amélioration du lit de la « Farm Creek » Illinois (Channel improvements, Farm Creek, Illinois). CORPS ENGRS, U. S. ARMY (Waterways Exper. Stn, Vicksburg, Miss.), U. S. A. (fév. 1953), Tech. Memor. n° 2-355, vi + 27 p., 13 fig., 10 fig. h. t., 11 pl. h. t. — Exemple d'une étude exécutée sur modèles réduits. E. 24963. CDU 627.1 : 620.1.

#### Fid p      Voies aériennes.

331-66. Stabilisation du sol pour revêtements d'aéroports (Stabilized soil construction for airfield pavements). HIGHW. BRIDGES ENGRS, G.-B. (4 mars 1953), vol. 19, n° 973, p. 1-3. E. 24415. CDU 629.139.1 : 624.138.

332-66. Stabilisation du sol pour les revêtements des aérodromes (Soil stabilisation for airfield pavements). ENGINEERING, G.-B. (13 mars 1953), vol. 175, n° 4546, p. 342. E. 24559. CDU 629.139.1 : 624.138.

333-66. Les bétons de terre et ciment employés comme fondations des pistes d'envol, des voies de roulement et des aires de décollage. 1938-1945 (Zement-Bodenvermörtelungen als Unterbau von Startbahnen, Rollstrassen und Abstellflächen. 1938-1945). LENZ (L.); STRASSEN-TIEFBAU, All. (mars 1953), n° 3, p. 67-71, 14 fig., 6 réf. bibl. E. 24657. CDU 629.139.1 : 691.41.

334-66. Etablissement de revêtements en ciment et de chaussées pour voitures à l'aérodrome d'Agra (Construction of concrete aprons and taxi tracks at Agra airfield). JAGGIT

SINGH; *Indian Concr. J.*, Inde (15 fév. 1953), vol. 27, n° 2, p. 124-125, 142-143, 9 fig. E. 24658. CDU 629.139.1 : 693.54.

335-66. Pistes en revêtements flexibles (pour aéroports) (Pistas de pavimento flexible). CANELLAS RODRIGUEZ (A.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (jan. 1953), n° 47, p. 541.6/1-541.6/10, 10 fig. E. 24412. CDU 629.139.1 : 691.161.

336-66. Calcul et construction des hangars des British European Airways à l'aéroport de Londres, avec référence particulière au béton précontraint (The design and construction of the British European Airways hangars at London airport, with particular reference to prestressed concrete). HOLT NEW (D.); *Proc. Instn civ. Engrs*, G.-B. (avr. 1953), (Part. III : Engng Div.), vol. 2, n° 1, p. 15-56, 5 fig., 24 fig. h. t., 1 réf. bibl. E. 24871. CDU 629.139.2 : 725.39.

337-66. Calcul et construction d'un hangar à trois travées en aluminium pour avions à l'aéroport de Londres (The design and construction of a three bay aluminium aircraft hangar at London airport). WARD (L. E.); *Struct. Engr.*, G.-B. (avr. 1953), vol. 31, n° 4, p. 103-110, 9 fig. E. 24731. CDU 629.139.2 : 725.39 : 691.77.

#### Fif      OUVRAGES D'ART

##### Fif j      Souterrains.

338-66. Méthode « photoprofil » pour la conduite, la surveillance et le contrôle des travaux souterrains, levé de profils en travers de galerie. MEURIOT (P.); *Mém. Soc. Ingrs civ. Fr.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 450-459, 6 fig. E. 24958. CDU 526.9 : 690.354 : 624.19.

339-66. Tunnel de la « Delaware Occidentale ». Méthodes ultra-modernes de construction des tunnels (East Delaware tunnel : gallery of up-to-date tunneling techniques). *Engng-News-Rec.*, U. S. A. (26 mars 1953), vol. 150, n° 13, p. 32, 34, 36-37, 10 fig. E. 24764. CDU 624.19 : 690.354.

340-66. La ventilation des tunnels routiers (La ventilazione delle gallerie stradali). STRADE, Ital. (mars 1953), n° 3, p. 86-88, 3 fig., 3 réf. bibl. E. 24876. CDU 624.19 : 711.73 : 697.9.

341-66. Détermination des tensions dans les parois des tunnels d'après les mesures de déformation des modèles expérimentaux (Wyznaczenie naprężen w obudowie tunelowej na podstawie pomiarów odkształcania modeli doswiadczałnych). POGANY (W.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 24-26, 7 fig. — Utilisation, pour l'étude des tensions dans les parois des tunnels d'après les mesures de déformation des modèles expérimentaux (Wyznaczenie naprężen w obudowie tunelowej na podstawie pomiarów odkształcania modeli doswiadczałnych). POGANY (W.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 24-26, 7 fig. — Utilisation, pour l'étude des tensions dans les parois des tunnels, de modèles réduits en paraffine qui a la propriété de prendre une teinte laiteuse dès qu'elle atteint le domaine des déformations plastiques. On a pu déterminer les tensions, contrôler les méthodes graphiques et analytiques existantes, déterminer la section la plus favorable de la paroi. E. 24884. Trad. I. T. 356, 6 p. CDU 624.19 : 624.131.

##### Fif 1      Soutènements.

342-66. Sur l'ancre des murs de soutènement (Ueber die Verankerung von Spundwänden). KRANZ (E.). Ed. : Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, All. (1953), 2<sup>e</sup> édit., 1 vol., II + 53 p., 44 fig. — Voir analyse détaillée B-868 au chap. III « Bibliographie ». E. 24507. CDU 624.152 : 624.131 (02).

##### Fif m      Ponts.

343-66. La reconstruction des ponts dits Ponts de la Lys, du Dam, de Buda ou du Reep, à Courtrai (Het herbouwen van de Leie- Dam-

Buda-en-Reepbrug, te Kortrijk). RAEDT (C. de), DEBROCK (N.); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (déc. 1952), n° 6, p. 821-870, 33 fig., 4 pl. h. t. (résumé français : 5 p.). E. 24831.

CDU 624.2/8 : 690.593.

344-66. Répartition des contraintes dans les ponts-routes (Distribution of load stresses in highway bridges). *Highway Res. Board* (Nation. Acad. Sci., Nation. Res. Councl.), U. S. A. (1952), Res. Report 14-B, publ. 253, II + 85 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. E. 24970. CUDU 625.74 : 518.5.

345-66. Ponts-routes et éléments préfabriqués en béton armé (Strassenbrücken aus Stahlbetonfertigteilen). *Bauplan. Bautech.*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 78-79, 6 fig., 1 réf. bibl. E. 24641. CUDU 625.74 : 693.55.

346-66. Mode de construction des poutres composées dans les ponts-routes; état actuel et exposé d'essais en cours (Verbundbauweise im Strassenbrückenbau, gegenwärtiger Stand und Ueberblick über laufende Versuche). KLINGENBERG (W.); *Bauingenieur*, All. (juin 1952), n° 6, p. 186-194, 17 fig. — Les poutres composées sont formées d'une poutre en acier et d'un tablier en béton armé superposé et lié d'une manière déterminée à la poutre. E. 23063. CUDU 625.74.

347-66. Construction des ponts des chemins de fer fédéraux allemands en 1952 (Der Brückenbau der Deutschen Bundesbahn im Jahre 1952). ERNST (E.); *Bautechnik*, All.; I : (fév. 1953), n° 2, p. 33-36, 5 fig. — Ponts métalliques sur l'Emscher et sur l'écluse; de Harburg sur la Wörnitz; poutre droite à cinq travées. — II : (mars 1953), n° 3, p. 65-71, 18 fig., 2 réf. bibl. — Pont métallique pour voie unique sur la Nims. Pont levant à double voie sur la Hunte, à Oldenburg, à deux travées levantes de 30 m de portée chacune. Pont métallique sur le Rhin à Cologne, portée : 120 m. — III (fin) : (avr. 1953), n° 4, p. 103-110, 21 fig., 3 réf. bibl. — Pont de la Fulda. Réparation du viaduc de la Ruhr. Pont sur le Kocher (ciment armé, ouverture centrale : 25 m). Pont en béton précontraint près d'Heidelberg (deux ouvertures de 25 m). E. 24088, 24420, 24811. CUDU 624.2/8 : 625.1.

348-66. Pont de Villeneuve Saint-Georges. LOSSIER (H.), BONNET (M.), THOMAS (M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1953), n° 67-68 (Travaux publics — XXII), p. 625-642, 25 fig. — Pont du type cantilever. Caisson à trois compartiments en béton postcontraint longitudinalement. Trottoirs en encorbellement. Articulations en béton fretté sur piles et pendules en béton fretté sur culées. Contrainte réglable réalisée avec des câbles de ponts suspendus passant sur balanciers articulés. Étude de la composition du béton. Construction des consoles culasses sur cintre fixe et de la travée indépendante sur cintre suspendu. E. 24398. CUDU 625.74.

349-66. Le pont de l'Harteloire à Brest. Travaux de construction. LA SERVE (H. de);

*Tech. mod. Constr.*, Fr. (mars 1953) t. 8, n° 3, p. 75-85, 20 fig., 3 réf. bibl. E. 24717. CUDU 624.27 : 693.97.

350-66. En France on a choisi le soudage pour un pont à trafic intense sur la Seine (French choose welding for heavy-traffic Seine bridge). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 mars 1953), vol. 150, n° 11, p. 42, 44-45, 5 fig. — Pont Corneille à Rouen. E. 24687. CUDU 624.27 : 621.791.

351-66. Le viaduc de la Baie de Chesapeake. I. (The Chesapeake Bay bridge). *Engineer*, G.-B. (13 mars 1953), vol. 195, n° 5068, p. 377-381, 9 fig. E. 24505. CUDU 624.27.

352-66. Construction du pont de la Baie de Chesapeake (Building the Chesapeake Bay bridge). SALTER (R. J.); *Muck Shifter*, G.-B. (avr. 1953), vol. 2, n° 4, p. 178-181, 4 fig. E. 24872. CUDU 624.27 : 693.97.

353-66. Le montage d'un pont de chemin de fer (The erection of a railway bridge). *Engineer*, G. B. (27 mars 1953), vol. 195, n° 5070, p. 469, 1 fig. — Pont métallique à trois ouvertures. Chaque section de la poutre principale a été mise en position de lancement complet au moyen d'une grue. Longueur de la poutre avec avant-bec : 33 m; poids : 37,5 t. E. 24672. CUDU 624.27.

354-66. Le nouveau pont sur la Schwarza (Die neue Schwarza-brücke). *Österr. Bauztg.*, Autr. (28 mars 1953); n° 13, p. 8-9, 7 fig. — Pont en béton armé de 104 m de long, à trois travées, qui présente des caractéristiques très particulières, car il est à la fois en courbe, biais par rapport à l'axe du fleuve et en pente. E. 24714. CUDU 624.27 : 693.55.

355-66. Constitution de la chaussée, isolation et traversées de chaussée dans les ponts-routes (Fahrbahnausbildung, Isolierungen und Fahrbahnübergänge bei Strassenbrücken). SCHMERBER (L.); *Bautechnik*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 110-114, 20 fig., 1 réf. bibl. E. 24811. CUDU 625.74 : 625.75.

356-66. Réfection du pont sur le canal de l'Inn à Rausching (Wiederherstellung der Innkanalbrücke bei Rausching). VEIT (O.); *Bautechnik*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 115-116, 8 fig. E. 24811. CUDU 624.27 : 690.593.

357-66. Reconstruction du pont sur le Tessin près de Turbigo (Italie) (La ricostruzione del ponte sul Ticino presso Turbigo). MASI (F.); *Costr. metall.*, Ital. (jan.-fév. 1953), n° 1, p. 3-6, 5 fig., 1 pl. h. t. — Pont métallique à trois travées de 44, 56 et 45 m; largeur de chaussée : 6,6 m. Deux trottoirs de 1,2 m. E. 24724. CUDU 624.27 : 693.97.

358-66. Construction d'un pont en arc en béton armé sur le canal de l'Isar près d'Aufkirchen à l'aide d'éléments préfabriqués (Bau einer Stahlbetonbogenbrücke über den Isar-kanal bei Aufkirchen/Obb. mit Hilfe von Fertig-teilen). HEMMLEB (R.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 85-88, 9 fig. — Portée : 49,9 m, flèches : 5,2 m; largeur totale : 8 m. E. 24877. CUDU 624.6 : 693.55.

359-66. Emploi d'un cintre en tubes d'acier pour la construction des ponts (Verwendung eines Stahlrohrlehrgerüstes im Brückenbau). *Beton-Stahlbetonbau*, All. (avr. 1953), n° 4, p. 103, 2 fig. E. 24877. CUDU 624.6 : 690.57.

360-66. Stabilité aérodynamique des ponts suspendus avec étude spéciale du pont sur le détroit de Tacoma (Aerodynamic stability of suspension bridges, with special reference to the Tacoma narrows bridge). *Univ. Washington, Engng Exper. Stn*, U. S. A., Bull. n° 116. — I : Recherches avant octobre 1941 (Investigations prior to October, 1941). FARQUHARSON (F. B.); (fév. 1950), 102 p., nombr. fig., 74 réf. bibl. — Historique du comportement dynamique des ponts suspendus. Historique, organisation, projet et construction de l'ancien pont sur le détroit de Tacoma, son comportement pendant sa brève existence. Théories aérodynamiques admises au début des études. Similitude et étude des modèles. Modèles, leur étude dans un tunnel de soufflerie. — II : Études mathématiques (Mathematical analyses). SMITH (F. C.), VINCENT (G. S.); (oct. 1950), 61 p., 17 fig., 7 réf. bibl. — Pont flexible à haubans non chargés, à treillis raidisseurs, ayant également une grande résistance à la torsion. Effet de celle-ci sur les piliers. Énergie des vibrations. Annexes concernant les formules de calcul. — III : Recherches sur modèles soumis à l'action du vent (The investigation of models of the original Tacoma narrows bridge under the action of wind). FARQUHARSON (F. B.); (juin 1952), 124 p., 179 fig. — Le nouveau laboratoire d'essais sur modèles de ponts suspendus. Construction d'un modèle du pont de Tacoma, Contrôles en tunnel de soufflerie. Comportement du modèle du pont initial de Tacoma. Modifications du modèle original. Recherches en tunnel effectuées à l'Institut technique de Californie. Essais sur modèles de ponts suspendus. Principales caractéristiques aérodynamiques. Bibliographie. E. 24322, 24323, 24324. CUDU 624.5 : 533.6 : 699.83.

361-66. Le marché a été signé pour le pont projeté sur le détroit de Mackinac (Michigan) (Record high contracts let for Mackinac bridge project). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 mars 1953), vol. 150, n° 11, p. 25-26, 3 fig. — Cet ouvrage comporte un pont suspendu de 1 158 m de portée qui sera le deuxième dans le monde. E. 24687. CUDU 624.5.

362-66. Théorie simple des ponts suspendus (A simple theory of suspension bridges). PUGSLEY (A. G.); *Struct. Engr*, G.-B. (mars 1953), vol. 31, n° 3, p. 75-82, 4 fig., 14 réf. bibl. E. 24424. CUDU 624.5 : 518.5.

363-66. Le pont Bailey utilisé comme ouvrage permanent (The Bailey bridge as a permanent structure). DIGBY-SMITH (R.); *Highw. Bridges Engng Works*, G.-B. (8 avr. 1953), vol. 19, n° 978, p. 4, 2 fig. E. 24852. CUDU 624.87 : 693.97.

## II. — TRADUCTIONS

### D'ARTICLES TECHNIQUES EFFECTUÉES PAR L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Des reproductions de ces traductions peuvent être fournies aux adhérents de l'Institut Technique, moyennant une participation aux frais de traduction fixée forfaitairement à 325 F la page dactylographiée du format normal.

349. Le tirage des cheminées et son importance pour les foyers domestiques (Der Schornsteinzug und seine Bedeutung für häusliche Feuerstätten). *Tech. Schornsteinfegerhandwerk*, All. (fév. 1953), n° 2, p. 9-10. (Tirée de : « HKI »,

1951, n° 2). — Énergie à demander à la combustion pour assurer le tirage. Conséquence pour le tuyau de raccordement du poêle à la cheminée. Production du bistre. Étanchéité indispensable des appareils. E. 25055, 3 p.

350. Existe-t-il encore des chefs fumistes qui recommandent le conduit unitaire ? (Gibt es noch Schornsteinfegermeister, die den Sammelschornstein befürworten ?). GROSS (R.); *Tech. Schornsteinfegerhandwerk*, All. (fév. 1953),

n° 2, p. 10-11. — Étude critique du conduit unitaire. Nécessité d'une section de conduit assez réduite pour favoriser le tirage et éviter les dépôts dans les cheminées. E. 25056, 3 p.

351. La construction des cheminées aux U. S. A. (Die Schornsteinbauweise in den U. S. A.), MÜLLER (B. W.); Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 12-13, 2 fig. — Utilisation de tuyaux de terre cuite ou de canaux de chamois pour exécuter les conduits de fumée. Nettoyage de la cheminée par aspirateurs de poussières ou combustion de produits chimiques. E. 25057, 3 p.

352. Autorisation de fabrication et d'emploi de matériaux pour la construction des chemi-

nées (Zulassung von Schornsteinbaustoffen); Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (fév. 1953), n° 2, p. 14-16, 46 fig. — Modèle de décision d'autorisation accordée à un constructeur pour la fabrication et l'emploi d'éléments pour cheminées, de un à trois conduits, à doubles parois. E. 25058, 5 p.

355. Causes des perturbations de tirage dans les cheminées. Comment les reconnaître et y porter remède (Ursachen für Zugstörungen am Schornstein Wie erkennt man sie und schafft Abhilfe). Tech. Schornsteinfegerhandwerk, All. (1953), n° 3, p. 19-20, 8 fig. — Règles fondamentales à observer pour obtenir un fonctionnement convenable d'un foyer domestique. Défauts de construction des cheminées. Entrée

d'air dans la cheminée. Causes, remèdes. E. 25044, 6 p.

356. Détermination des tensions dans les parois des tunnels d'après les mesures de déformation des modèles expérimentaux (Wyznaczenie naprężen w obudowie tunelowej na podstawie pomiarów odkształceń modeli doswiadczeń). POGANY (W.); Inżyn. Budown., Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 24-26, 7 fig. — Utilisation, pour l'étude des tensions dans les parois de tunnels, de modèles réduits en parafine qui a la propriété de prendre une teinte laiteuse dès qu'elle atteint le domaine des déformations plastiques. On a pu déterminer les tensions, contrôler les méthodes graphiques et analytiques existantes, déterminer la section la plus favorable de la paroi. E. 24884, 6 p.

### III. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente, les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs ou aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir, toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 28, Boulevard Raspail, Paris-VII<sup>e</sup>.

B. 864. Assainissement et traitement des eaux d'égouts (Sewerage and sewage treatment). BABBITT (H. E.). Ed. : John Wiley and Sons, Inc., 440 Fourth Avenue, New-York 16, U. S. A. (1953), 7<sup>e</sup> édit., 1 vol. (15 × 23,5 cm), IX + 674 p., 341 fig., 34 réf. bibl., § : 8. — Description des différents types d'égouts et de systèmes d'assainissement. Moyens de prévoir le volume d'eaux usées qui peut se présenter dans un système donné. Hydraulique des égouts; marche à suivre pour effectuer l'étude d'un système d'assainissement. Matériaux utilisés; charges supportées par les conduites enterrées; construction des égouts; pompage; entretien des installations d'assainissement. Épuration des eaux usées; filtrage; installations de sédimentation; traitement chimique; fosses septiques; diverses sortes de filtres. Traitement, activation, manutention, digestion, séchage et incinération des boues. Égouts industriels. En appendice : cent soixante-quatre problèmes relatifs à diverses questions de calcul, d'installation, de fonctionnement de systèmes et d'installations d'assainissement. E. 24746.

B-865. Dictionnaire d'architecture (Dictionary of architecture). SAVLOR (H. H.); Ed. : John Wiley and Sons, Inc., 440 Fourth Avenue, New-York 16, U. S. A. (1952), 1 vol. (10,5 × 17 cm), XI + 221 p., nombr. fig., § : 4,50. — Orthographe, prononciation et définition des termes utilisés dans la construction moderne. Expressions ou mots étrangers passés intégralement dans le vocabulaire de l'homme de l'art anglais ou américain. Seize planches reproduisent des vues des éléments principaux rencontrés dans la construction et les différents styles classiques. E. 24744.

B-866. Mécanique du sol, fondations et constructions en terre (Soil mechanics, foundations, and earth structures). TSCHEBOTARIOFF (G. P.). Ed. : McGraw-Hill Publishing Company Ltd, MacGraw-Hill House, 95 Farringdon Street, Londres EC 4, G.-B. (1951), 1 vol. (15 × 23,5 cm), XX + 655 p., nombr. fig., 448 réf. bibl., 60s. — Ouvrage théorique et pratique. But et importance des fondations. Action réciproque de la superstructure du sol et de la fondation. Nécessité de l'étude de la mécanique des sols. Étude géologique et de la formation des sols; liaison nécessaire entre les ingénieurs, les géologues et les techniciens de l'agriculture. Essais sur les propriétés des sols, densité, consistance, capillarité, perméa-

bilité, déplacement des eaux souterraines, action du gel. Consolidation des sols; étude de leur résistance aux efforts tranchants; stabilité des tranchées à parois verticales et des talus; capacité portante; pression latérale des terres. Compaction et stabilisation des sols. Choix du type de fondation; différentes sortes de fondations : sur pieux, sur caissons; rideaux de palplanches; reprise en sous-œuvre; murs de soutènement; batardeaux; galeries et tunnels. Construction des barrages; effet des vibrations sur les fondations de machines; construction des pistes d'envol pour aérodromes et des routes à grande circulation. E. 23640.

B-867. Technique et construction de la route (Road engineering). LEEMING (E. L.). Ed. : Constable and Company, Ltd, 10-12 Orange Street, Londres WC 2, G.-B. (1952), 3<sup>e</sup> édit., 1 vol. (14 × 22 cm), x + 308 p., 171 fig., 4 fig. h. t., 10 réf. bibl., 30s. — Sous-sol; drainage; terrassements; ponts; conduites enterrées; murs de soutènement; profil en travers; courbes dans le plan horizontal et dans le plan vertical; routes de montagne; étude du trafic; voies de circulation des routes à grand trafic. Différentes sortes de revêtements pour route : macadam, bitume, asphalte, goudron, emploi du caoutchouc, routes en béton; trottoirs, voies cyclables. Équipements et installations pour la construction des routes. Entretien. Réparation des chaussées. Mesure de l'usure des chaussées. Application de traitements antidérapants. Influence des pneumatiques, de la vitesse et du type de véhicules sur les surfaces de routes. Signalisation. Éclairage. Parcs à voitures. Emplacements réservés au stationnement. Questions administratives et financières. En appendice : législation britannique relative à la route. Conditions générales des marchés. Tableau des mélanges pour béton. Standards britanniques des ciments. E. 24843.

B-868. Sur l'ancre des murs de soutènement (Ueber die Verankerung von Spundwänden). KRANZ (E.). Ed. : Wilhelm Ernst und Sohn, Hohenholznerdamm 169, Berlin-Wilmersdorf, All. (1953), 2<sup>e</sup> édit., 1 vol. (15 × 20,5 cm), II + 53 p., 44 fig., DM : 7,50. — Généralités et remarques préliminaires; hypothèses; point origine de la surface de glissement; procédés de calculs utilisés antérieurement pour les ancrages courts et longs. Nouveaux procédés de calcul pour les ancrages courts : surface de glissement défavorable;

détermination de la résistance des terres sur le mur d'ancre pour ancrage court; critique des résultats. Force d'ancre P. Influence de diverses variables : longueur d'ancre; profondeur d'ancre et de battage; frottement du mur; obliquité de l'ancre; cohésion du sol. Observations pratiques : ancrages multiples; diversité des couches du sol et influence de l'eau souterraine; charge et résistance de l'ancre; sécurité de l'ancre. Résumé et formules de calcul. Exemples : calcul de l'ancre d'un mur de quai de port fluvial; vérification de l'ancre d'un mur de quai de port sur un canal; calcul de l'ancre triple d'un mur d'écluse à la mer. Annexes : tableaux donnant les résistances des terres pour les ancrages courts; courbes tirées de ces tableaux. Bibliographie. E. 24507.

B-869. Aciers industriels de construction (Technische Baustahle). KÜNTSCHER (W.), KILGER (H.), BIEGLER (H.). Ed. : Wilhelm Knapp, Mühlweg 19, (19a) Halle (Saale), All. (1953), 2<sup>e</sup> édit., 1 vol. (17 × 25 cm), VII + 489 p., 159 fig., 54 réf. bibl., DM : 28,80. — Propriétés, façonnage et utilisation des aciers de construction; aciers au carbone, pour constructions en élévation, pour rails; corrosion des aciers de construction non alliés. Aciers non alliés de qualité spéciale : pour tubes sans soudures; aciers : doux non alliés, améliorés, pour chaudières, pour l'industrie chimique, pour usages spéciaux, coulés non alliés. Dénomination systématique des aciers : d'après leur résistance, leur composition chimique. Aciers : à écrous, à ressorts; de construction, faiblement alliés; à coussinets, pour dynamos, haute pression pour l'industrie chimique, nitrurés, inoxydables et anti-acides, résistants à la chaleur. Aciers : alliés pour usages spéciaux, alliés coulés; aciers rapides, carburés. Façonnage à chaud. Essais des aciers, essais : chimique, simple des acieries, aux rayons X, mécaniques, statiques et de fatigue, de choc. Propriétés importantes; moyens de les reconnaître. Questions relatives à la qualité de l'acier. E. 24555.

B-771. Les travaux publics dans la forêt. Routes et ponts (Forest engineering. Roads and bridges). HARRISON (J. L.); Ed. : Oliver and Boyd, Tweeddale Court, Edimbourg; 98 Great Russell Street, Londres WC, G.-B. (1951), 1 vol. (14,5 × 22 cm), XVI + 366 p., 40 pl., 9 pl. h. t., 30 s. — Principes de l'étude et de la construction des routes forestières et des

ponts. I. Routes : Étude du site, premiers relevés, tracé de la route, relevés topographiques, terrassements, choix du type de route, principes généraux de la construction des routes, étude du drainage, étude des murs de soutènement, différents modes de construction des routes, entretien, réparations, stabilisation du sol; matériaux pour route, extraction de la pierre, établissement du devis. II. Ponts : Ponts en bois : essais des bois, mécanique du bois; poteaux en bois, études par la statique graphique; emplacement, chantiers et construction des ponts; types de ponts routiers; charges à prévoir sur les ponts forestiers. Détails de construction et calcul des ponts routiers en poutres simples. Poutres à contre-fiches. Poutres en treillis, poutres à arbalétrier; ponts suspendus et ponts « Cantilever ». Calcul des contraintes. Ouvrages de protection sur les rivières. Lutte contre l'érosion. Épis en rivière. Jonction des bois de charpente. Classification et principes des joints. Assemblages et assujettissemens des poutres. E. 22854.

B-772. Manuel de la construction métallique 1952 (Stahlbau-Handbuch 1952). UNOLD (G.), KLEINEBERG (F.); Ed. : Industrie- und Handelsverlag, Walter Dorn, G. M. B. H., Vahrer Strasse 359, Bremen-Horn, All., 1 vol. (11 × 17 cm), x + 657 p., nombr. fig., réf. bibl., DM : 28. — I. Mathématiques : tableaux

et formules; fonctions, équations différentielles, centres de gravité, moments d'inertie et moments résistants des surfaces planes. Essais des matériaux, essais statiques. Résistance à la fatigue, tension et déformation. II. Statique des constructions : réactions d'appui. Pièce tendue, pièce droite fléchie, moments fléchissants, tensions, déformations; cas particuliers; flexion avec force longitudinale. Pièce courbe plane. Torsion de la presse prismatique; pièces composées planes. Charges mobiles; procédés des lignes d'influence, des moments. Problèmes divers. Déformation thermique. Pièces hyperstatiques, portiques, poutres continues; liaison des portiques et des barres; pièces composées (poutres et portiques). Méthode de Cross. III. Prescriptions pour la construction métallique : construction métallique; matériaux; normes de calcul et d'exécution des ouvrages métalliques; prescriptions pour les bâtiments et les engins de levage; prescriptions relatives aux chemins de fer fédéraux allemands, aux ponts-routes. IV. Profilés, tableaux des profils. V. Moyens d'assemblage; normes pour rivets, boulons, soudures. Anciennes normes relatives aux diamètres en pouces pour rivets et boulons. Fil de sondage. Soudures. Annexe : Condition de stabilité. Texte complet de la norme allemande DIN 4114, toute récente, qui codifie d'une façon très détaillée les règles relatives à tous les cas d'instabilité d'équilibre : flambement, déversement et gauchissement. E. 23172.

B-773. I. Contribution à la rationalisation dans les immeubles d'habitation (Beiträge zur Rationalisierung im Wohnungsbau). TRIEBEL (W.); Ed. Franckh'sche Verlagshandlung, Pfizerstrasse 5-7, Stuttgart-O, All., Fortschr. Forsch. Bauwesen (1952), n° 7, série D, 1 vol. (21 × 29,5 cm), p. 9-91, nombr. fig., réf. bibl. — II : Des possibilités d'utilisation des constructions incendiées (Über die Ausbauwürdigkeit von Brandruinen). WEISSE (K.); p. 95-110, 21 fig., 3 fig. h. t., 5 réf. bibl. — I : (Travaux et résultats de l'Institut de Hanovre en 1950-1951). Planification, matériaux, modes de construction et éléments du gros œuvre, travaux intérieurs; chantiers, bâtiments d'habitation; considérations économiques; constructions rurales; protection contre l'incendie; conclusions; publications de l'Institut. — II : (Rapport établi par le Bureau des Recherches sur la Technique du Bâtiment du Sénat de Berlin). Étendue des dommages dans l'Ouest de Berlin. Sécurité des murs conservés, briques et mortier, leur état six ans après l'incendie; dilatations thermiques; dégradations par les influences atmosphériques; coût des constructions; principes pour les déterminer; plafonds et escaliers en bois. Comparaison de la construction neuve et de la réfection des ruines. Frais de chauffage dans les deux cas : sanitation. Ruines irréparables. E. 23350.

## IV. — NORMALISATION

### TRAVAUX EN COURS

#### Bâtiment et Génie civil.

19 novembre : AFNOR. — Commission de la menuiserie métallique.

Suite de l'examen des réponses reçues au cours de l'enquête publique sur le projet de norme Pr P 24-101 « Menuiserie métallique Terminologie ».

26 novembre : AFNOR. — Commission des ciments et dérivés.

Examen des réponses reçues au cours de l'enquête publique sur les projets de normes suivants :

— Pr P 33-301 « Plaques ondulées et ardoises en amiante-ciment — qualités. »

— Pr P 33-401 « Plaques ondulées et pièces de forme en amiante-ciment — dimensions. »

— Pr P 33-402 « Ardoises en amiante-ciment — dimensions. »

9 décembre : Bureau de Normalisation de l'Ordre des Architectes (B. N. O. A.). — Commission consultative.

Échange de vues sur le projet Pr P 24-101 « Menuiserie métallique — Terminologie ». — Étude de l'extension de ce projet à la menuiserie en bois.

17 décembre : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C. S. T. B.). — Commission des matériaux nouveaux de construction.

Étude de divers procédés de constructions concernant les murs, les planchers et les maisons préfabriquées.

14 janvier : Bureau de Normalisation de l'Ordre des Architectes (B. N. O. A.). — Commission consultative.

Compte rendu des études entreprises notamment avec la Préfecture de police pour l'établissement d'un nouveau règlement concernant les conduits de fumée.

#### RECTIFICATIF :

Documentation Technique LXIV, page 513, n° 81-64, remplacer le texte existant par : « Projection des métaux et notamment du zinc et de l'aluminium, sur les surfaces préalablement sablées ».

#### RECTIFICATIF :

Documentation Technique LXIV, page 528, B-779, à la 5<sup>e</sup> avant-dernière ligne, lire : 7<sup>o</sup>) Série américaine pour pieux BP. au lieu de : pièces BP.

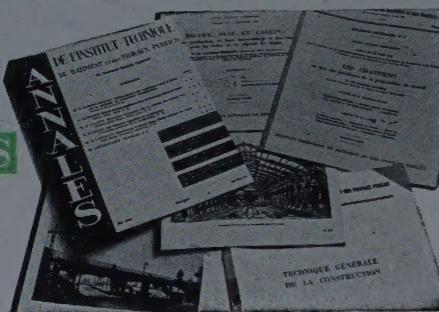
(Reproduction interdite.)



INGÉNIEURS  
ITBTP ARCHITECTES  
ENTREPRENEURS

POUR VOUS TENIR  
AU COURANT  
DES PROGRÈS  
RÉALISÉS DANS  
LA TECHNIQUE  
DE LA  
CONSTRUCTION

LISEZ  
LES  
**ANNALES**  
DE  
L'INSTITUT TECHNIQUE  
DU BATIMENT ET  
DES TRAVAUX PUBLICS



→ Vous consaciez un budget important à votre documentation, mais elle ne peut être complète.  
Nous lisons pour vous dans toutes les langues, un coup d'œil sur les rubriques de notre

### DOCUMENTATION TECHNIQUE

et vous saurez tout ce qui a paru concernant votre spécialité chez tous les éditeurs et dans 200 revues de tous pays.

Des analyses courtes, claires, objectives, vous signaleront la littérature qui vous est utile.

→ vous voulez être renseigné sur une technique qui ne vous est pas familière.  
Écrivez à notre

### SERVICE DE DOCUMENTATION

Il vous fournira rapidement les références et les documents qui vous manquent.

Il établira aux meilleures conditions la traduction correcte du document étranger qui vous intéresse.

MANUEL  
DE LA CHARPENTE EN BOIS  
(III)

*Déjà paru dans la même série :*

- N<sup>o</sup> 1. — Un Manuel de la charpente en bois.  
N<sup>o</sup> 2. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art.  
N<sup>o</sup> 3. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art (Annexe).  
N<sup>o</sup> 4. — Caractéristiques générales du bois de charpente. Propriétés et emplois des différentes essences.  
N<sup>o</sup> 5. — La préparation du bois. Exploitations forestières, abatage, séchage, étuvage, traitement de conservation et de préservation contre le feu.  
N<sup>o</sup> 6. — Travail des bois.
- N<sup>o</sup> 7. — Le trait de charpente (Première partie).  
N<sup>o</sup> 8. — Le trait de charpente (Deuxième partie).  
N<sup>o</sup> 9. — Les assemblages.  
N<sup>o</sup> 10. — Exemples de calculs de charpentes en bois (Première partie).  
N<sup>o</sup> 11. — Exemples de calculs de charpentes en bois (Deuxième partie).  
N<sup>o</sup> 12. — Étalements, échafaudages, ouvrages spéciaux.  
N<sup>o</sup> 13. — Stabilité des constructions appliquée au bois. Première partie : statique graphique.

# COLLECTION DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

VIENT DE PARAITRE :

## FORMULAIRE DU BÉTON ARMÉ TOME PREMIER

par R. CHAMBAUD, Ingénieur des Arts et Manufactures et P. LEBELLE, Ancien Élève de l'École Polytechnique  
Avec la collaboration de R. CLOET, Ingénieur civil de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.  
Préface de A. CAQUOT, Membre de l'Institut.

Un volume relié toile de 460 pages, format 14 × 22,5 cm, dont 114 pages de tableaux numériques, 219 figures, 28 abaques, 73 échelles fonctionnelles et de nombreux exemples (prix : 3 800 F, franco port recommandé : 4 000 F).

### OUVRAGES PARUS :

Béton Précontraint, Étude théorique et expérimentale, par Y. GUYON, Ingénieur Diplômé de l'École Polytechnique. Préface de E. FREYSSINET, Inspecteur Général Honoraire des Ponts et Chaussées.

Un vol. grand in-8° raisin, 728 p., 503 fig. Relié ..... 4 500 F  
(franco port recommandé : 4 704 F).

Règles d'utilisation du béton armé (Règles BA, 1945, modifiées en mars 1948).

Un vol. in-8° Carré, 104 p., 27 fig. Broché ..... 260 F  
(frais d'expédition 30 F).

Règles d'utilisation des ronds crénélés et lisses pour béton armé de limite d'élasticité supérieure ou égale à 40 kg/mm<sup>2</sup>.

Un vol. in-8° Carré, 60 p., 8 fig. Broché ..... 300 F  
Cartonné ..... 350 F  
(frais d'expédition 30 F).

Règles d'utilisation de l'acier (Règles CM, 1946).

Un vol. in-8° Carré, 96 p., 29 fig. Broché ..... 300 F  
(frais d'expédition 30 F).

Commentaires des Règles d'utilisation de l'acier (Règles CM, 1946).

Un vol. in-8° Carré, 80 p., 14 fig. Broché ..... 300 F  
Cartonné ..... 330 F  
(frais d'expédition 30 F).

Jeux d'abaques relatifs au calcul du flambelement (Règles CM, 1946).

Le jeu ..... 50 F  
(frais d'expédition 30 F).

Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions (Règles NV, 1946).

Un vol. in-8° Carré, 96 p., 29 fig. ..... 275 F  
(frais d'expédition 30 F).

Toitures-Terrasses - Procédés multiconches.

Un vol. in-4° Carré, 36 p., 44 fig. Broché ..... 250 F  
(frais d'expédition 35 F).

Étanchéité par l'asphalte. Cahier des charges et conditions générales applicables aux travaux d'étanchéité par revêtement en asphalte.

Broché ..... 200 F  
(frais d'expédition 35 F).

Conditions d'exécution du gros œuvre des toitures-terrasses en béton armé.  
Un vol. in-8° Carré, 32 p., 27 fig. Broché ..... 100 F  
(frais d'expédition 15 F).

Devis et estimation des ouvrages en béton armé, par M. JAVAY.  
Les trois fascicules ..... 350 F  
(frais d'expédition 30 F).

Lexique technique français-anglais et anglais-français du matériel de travaux publics.  
Un vol. in-8° Carré, 184 p. Relié pleine toile ..... 700 F  
(frais d'expédition 35 F).

Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889.  
Nouveau tirage. Broché ..... 900 F  
(frais d'expédition recommandée 145 F).

La pierre matériau du passé et de l'avenir, par M. Pierre NOËL.  
Un vol. in-8° Carré, 112 p., 74 fig. Broché ..... 250 F  
(frais d'expédition 35 F).

La pierre dans la construction des ouvrages d'art (conférences de MM. SUQUET, VITALE, PARMENTIER et CAQUOT).  
Le volume ..... 150 F  
(frais d'expédition 30 F).

Caractéristiques physiques et mécaniques des terrains. Application aux terrains de la région parisienne, par M. VARLAN.  
Un vol. 120 p., 33 fig. ..... 100 F  
(frais d'expédition 45 F).

Contribution à l'étude du vieillissement des bitumes, par M. VARLAN.  
Un vol. 76 p., 7 fig. ..... 75 F  
(frais d'expédition 30 F).

Méthode de calcul des déperditions thermiques des locaux en régime continu.  
Un vol. in-4° Carré, 72 p. ..... 900 F  
(frais d'expédition 50 F).

Spécifications U. N. P. des produits de peinture utilisés dans les travaux de bâtiment.  
16 fascicules réunis dans un cartonnage extensible ..... 800 F  
(frais d'expédition : 60 F).

En cours de publication en fascicules in-4° Carré illustrés (21 × 27) :

### MANUEL DE LA CHARPENTE EN BOIS

#### Fascicules parus :

N° 1. — Introduction (prix : 10 F).

N° 2. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art, par M. DUHOUX (prix : 220 F).

N° 3. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art (annexe), par MM. DUHOUX et VALLETTE (prix : 200 F).

N° 4. — Caractéristiques générales du bois de charpente. Propriétés et emplois des différentes essences, par M. CAMPREDON (prix : 140 F) (épuisé).

N° 5. — La préparation du bois. Exploitations forestières, abatage, séchage, étuveage, traitement de conservation et de préservation contre le feu, par M. CAMPREDON (prix : 80 F).

N° 6. — Travail des bois, par M. LOTTE (prix : 120 F).

N° 7. — Le trait de charpente (1<sup>re</sup> partie), par M. JAROUSSEAU (prix : 120 F).

N° 8. — Le trait de charpente (2<sup>re</sup> partie), par M. JAROUSSEAU (prix : 220 F).

N° 9. — Les assemblages, par M. GREZEL (prix : 240 F).

N° 10. — Exemples de calculs de charpentes en bois (1<sup>re</sup> partie), par M. VRAIN (prix : 240 F).

N° 11. — Exemples de calculs de charpentes en bois (2<sup>re</sup> partie), par M. VRAIN (prix : 315 F).

N° 12. — Étalements, échafaudages, ouvrages spéciaux (prix : 300 F).

N° 13. — Stabilité des constructions appliquée au bois. Première partie : Statique graphique, par M. VRAIN (prix : 170 F).  
(frais d'expédition des 13 fascicules : 70 F).

### MANUEL DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

#### Fascicules parus :

N° 1. — Introduction et plan (prix : 60 F).

N° 2. — Moyens d'assemblage des constructions métalliques (prix : 140 F).

N° 3. — Assemblages dans les constructions métalliques (prix : 160 F).

N° 4 a. — Combles (prix : 60 F).

N° 5. — Rivetage (prix : 120 F).

N° 6. — Charpentes et ossatures métalliques de Bâtiment. — Généralités. — Planchers (prix : 100 F).

N° 7. — Poutres à flûte pleine (prix : 80 F).

N° 8. — Éléments tendus (prix : 40 F).

N° 9. — Éléments des systèmes réticulés. Éléments comprimés (épuisé).

N° 10. — Exemple de calcul de l'ossature métallique d'un bâtiment à étages (prix : 110 F).

N° 11. — Bonlonnage (prix : 50 F).

(frais d'expédition des 10 fascicules : 50 F).

Adresser les commandes accompagnées de leur montant à LA DOCUMENTATION TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS, 28, boulevard Raspail, Paris-VII<sup>e</sup>, C. C. P. Paris 8524-12.

Aucune réclamation ne sera admise si l'enveloppe n'a pas été fait recommandé (recommandation 25 F en sus).